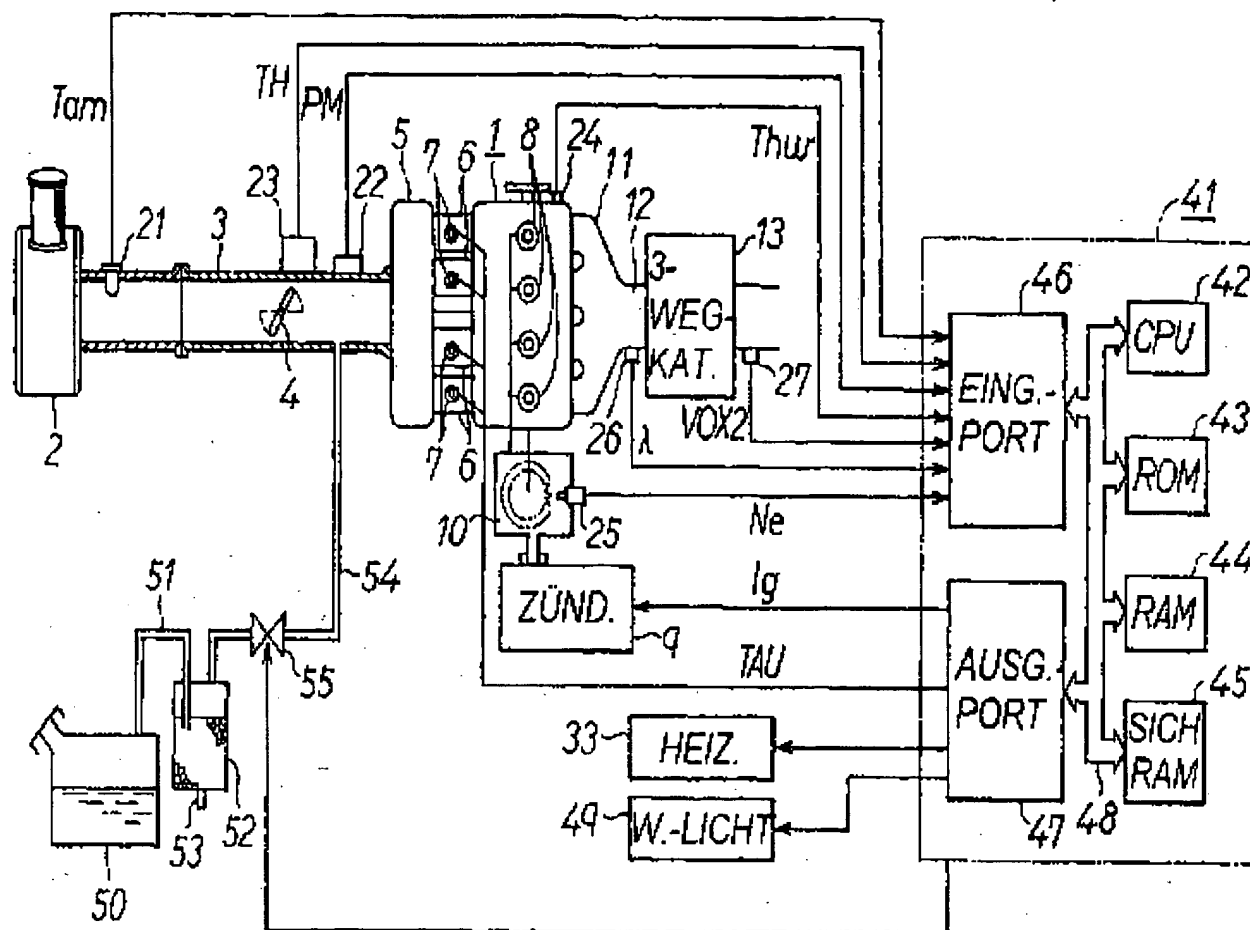


AN: PAT 1998-053970
TI: Fault diagnosis system for air/fuel ratio control system of IC engine uses CPU in control unit for comparing variation rates of detected lambda values and calculated lambda correction coefficients
PN: **DE19725567**-A1
PD: 02.01.1998
AB: The fault diagnosis system uses the central processing unit (CPU) (42) within the electronic engine control (41) unit providing the fuel ratio correction coefficients for comparing the variation rates of the detected air-fuel ratio (lambda) values and of the correction coefficients to indicate a fault in the air/fuel ratio sensor operation. The CPU may provide summation values for the second differentials of both the lambda values and the correction coefficients, the ratio between these sum values being compared with a fault decision threshold.; USE - For air/fuel ratio (LAMBDA) sensor used with electronic regulation of IC engine. ADVANTAGE - Detects fault in operation of air/fuel ratio sensor using microprocessor within engine regulation system.
PA: (NPDE) DENSO CORP; (NPDE) NIPPONDENSO CO LTD;
IN: HASEGAWA J; IIDA H; KONDO W; YAMAGUCHI M; SAGISAKA Y; YAMASHITA Y;
FA: **DE19725567**-A1 02.01.1998; US6032659-A 07.03.2000; JP10002245-A 06.01.1998; JP10169501-A 23.06.1998; US5964208-A 12.10.1999;
CO: DE; JP; US;
IC: F02D-041/14; F02D-041/22; F02D-045/00;
MC: T01-J07C; X22-A03A2A; X22-A05D;
DC: Q52; T01; X22;
FN: 1998053970.gif
PR: JP0076336 31.03.1995; JP0089651 14.04.1995; JP0156907 18.06.1996; JP0333664 13.12.1996;
FP: 02.01.1998
UP: 07.03.2000

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)



THIS PAGE BLANK (USPTO)



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

Offenlegungsschrift DE 197 25 567 A 1

⑤1 Int. Cl.⁸:
F02 D 41/14
F 02 D 45/00

②1 Aktenzeichen: 197 25 567.1
②2 Anmeldetag: 17. 6. 97
④3 Offenlegungstag: 2. 1. 98

DE 197 25 567 A 1

③0 Unionspriorität:

8-156907 18.06.96 JP
8-333664 13.12.96 JP

⑦1 Anmelder:

Denso Corp., Kariya, Aichi, JP

⑦4 Vertreter:

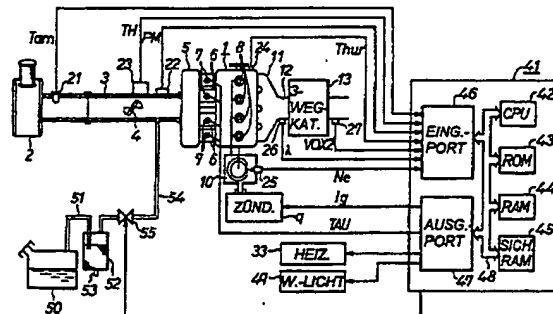
Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner, 80336 München

⑦2 Erfinder:

Iida, Hisashi, Kariya, Aichi, JP; Hasegawa, Jun,
Kariya, Aichi, JP; Kondo, Wakichi, Kariya, Aichi, JP;
Yamaguchi, Masahiko, Kariya, Aichi, JP

⑤4 Fehlerdiagnosesystem für ein Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem

⑤7 Ein Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 ist im Abgasrohr 12 einer Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 angeordnet. Eine CPU 42 in einer ECU 41 bestimmt einen Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF gemäß der Differenz zwischen einem Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ , welches durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 erfaßt ist, und einem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} , und führt die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelung unter Verwendung des Korrekturkoeffizienten FAF aus. Die CPU 42 kann das Verhältnis zwischen dem Summenwert $\Sigma[\Delta^2\lambda_{SM}]$ der zweiten Ableitung von λ und dem Summenwert $\Sigma[\Delta^2FAFSM]$ der zweiten Ableitung von FAF gegenüber einem vorbestimmten Fehlerentscheidungswert α vergleichen, um die Fehlerdiagnose auszuführen. Ferner kann die CPU 42 nicht nur die Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ und dem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} berechnen, sondern auch die Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF und dessen Durchschnittswert.



DE 197 25 567 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem mit einem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor, welcher seine Ausgabe entsprechend dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis einer Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung linear verändert, so daß die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelung auf der Grundlage des Erfassungsergebnisses dieses Sensors durch eine elektronische Steuereinheit, welche einen Mikroprozessor oder dergleichen aufweist, ausführbar ist. In mehr besonderer Weise betrifft die Erfindung ein Fehlerdiagnosesystem für ein solches Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem.

In einem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem der letzten Jahre ist ein Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor (z. B. ein Sauerstoffsensor der Grenzstromtype) verwendet worden, um das Luft/Kraftstoff-Verhältnis einer Wärmekraftmaschine gemäß der Sauerstoffkonzentration in einem Abgas linear zu erfassen. Ein Mikroprozessor nimmt das Erfassungsergebnis des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses durch den Sensor auf, um die Kraftstoffeinspritzmenge in die Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung zu regeln. In diesem Fall berechnet der Mikroprozessor den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten auf der Grundlage des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Erfassungsergebnisses vom Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor, um die Kraftstoffeinspritzmenge mit dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten zu korrigieren. Demzufolge wird in der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung die optimale Verbrennung realisiert, um den Gehalt an giftigen Nebenprodukten (z. B. CO, HC, NO_x usw.) in dem Abgas zu vermindern.

Da in dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem andererseits die Zuverlässigkeit des durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor zu erfassende Luft/Kraftstoff-Verhältnis abnimmt, verschlechtert sich wesentlich die Regelungsgenauigkeit des Systems. Daher verlangt der Stand der Technik ein Verfahren zum Ausführen einer hochgenauen Fehlerdiagnose des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors. An dieser Stelle wird ein Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors oder ein Steuerfehler infolge der elektronischen Steuereinheit (z. B. des Mikroprozessors) als ein Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystems definiert.

Der charakteristische Fehler der Sensorausgabe wird nachstehend mit Bezug auf Fig. 23A beschrieben. In der normalen Sensoroperation sind das erfaßte Luft/Kraftstoff-Verhältnis (d. h. der erfaßte λ -Wert) und das tatsächliche Luft/Kraftstoff-Verhältnis (d. h. der tatsächliche λ -Wert) im wesentlichen übereinstimmend, wie durch die Vollinie in Fig. 23A gezeigt ist. Zum Sensorfehlerzeitpunkt ist der erfaßte λ -Wert kleiner oder größer als der tatsächliche λ -Wert, wie durch die gestrichelten Linien gezeigt ist. Es ist anzunehmen, daß dieser charakteristische Fehler auf Grund der Alterung, wie z. B. durch Elektrodenverklumpung oder Elektrodenabtrennung oder Elementbruch (z. B. das Aufbrechen einer diffundierten Widerstandsschicht oder einer Festelektrolytschicht) oder durch einen Leitungs- oder Isolationsfehler) auftritt.

Der Fehler, durch welchen sich das Ansprechvermögen der Sensorausgabe vermindert, wird mit Bezug auf Fig. 23B beschrieben. Wenn das Ansprechvermögen der Sensorausgabe geringer wird, erfolgt die Verzögerung des Übergangs des erfaßten λ -Werts gegenüber jenem des tatsächlichen λ -Werts, wenn sich die Kraftstoffeinspritzmenge von der "Mager"-Seite zur "Fett"-Seite ändert, wie gezeigt ist. Es ist anzunehmen, daß diese Verminderung des Ansprechvermögens auf Grund der Blockierung einer Bedeckung oder einer porösen Elektroden-schicht infolge der Verunreinigung des Sensors oder durch unzureichende Aktivität infolge einer Heizelementstörung auftritt.

Wie vorstehend beschrieben, können Probleme im Zusammenhang mit der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensorausgabe durch eine Reihe von Faktoren verursacht sein, und ein Verfahren zum Ausführen einer hochgenauen Fehlerdiagnose des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors wird angestrebt. Abschließend ist darauf hinzuweisen, daß ein System zur Diagnose des Sensorfehlers auf der Grundlage des Verhaltens des erfaßten Luft/Kraftstoff-Verhältnisses durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor oder das Verhalten des Werts FAF entwickelt worden ist.

Bei der Regelung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses ist im allgemeinen z. B. der verdampfte Kraftstoff (oder das verdampfte Benzin) in dem Kraftstofftank dem Wärmekraftmaschinen-Ansaugsystem zuzuleiten, und der Wert FAF kann fehlerhaft abweichen oder in einer Übergangszeitdauer von einem Sollwert (z. B. einem Bezugswert = 1,0) abweichen. Selbst wenn weiterhin ein erlernter Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Wert gelöscht wird, unmittelbar nachdem die Batterie gewechselt wurde, kann ein Fehler des Werts FAF gemäß der Besonderheit der Wärmekraftmaschine auftreten. Wenn demzufolge die Diagnose des vorliegenden Sensorfehlers zu verschiedenen Zeiten des Werts FAF ausgeführt wird, besteht ein Problem, daß eine fehlerhafte Diagnose erfolgen kann.

Weiterhin beschreiben Dokumente zum Stand der Technik, wie z. B. die japanische Offenlegungsschrift Nr. 62-225943 unter dem Titel "Method of Detecting Abnormality of Oxygen Concentration Sensor" ein Fehlerdiagnoseverfahren zum Erfassen eines Fehlers eines Verbindungssystems in dem Sensor zur Bestimmung der Sauerstoffkonzentration der Grenzstromtype gemäß einer angelegten Spannung und einem erfaßten Strom.

Der vorstehend beschriebene Stand der Technik kann einen Fehler in dem Schaltungsaufbau, wie z. B. einen Bruch oder einen Kurzschluß des Verbindungssystems, erfassen. Wenn sich jedoch das Luft/Kraftstoff-Verhältnis vermindert, ist das Anzeichen eines sich ergebenden Fehlers nicht erfaßbar. In anderen Worten, es ist unmöglich, die Genauigkeit des durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor erfaßten Luft/Kraftstoff-Verhältnisses zu bestimmen (ob die Sensorausgabe normal oder unnormal ist), d. h., die Zuverlässigkeit der Sensorausgabe zu bestimmen. Ferner ist es unmöglich, die Zuverlässigkeit des elektronischen Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystems unter Verwendung des Erfassungsergebnisses des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors zu diagnostizieren.

Die vorliegende Erfindung erfolgte im Hinblick auf die vorstehend erwähnten Probleme des Standes der Technik, und eine Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Fehlerdiagnosesystem für ein Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem zu schaffen, welches eine hochgenaue Diagnose eines Fehlers des Luft/Kraftstoff-Ver-

hältnis-Regelungssystem führen kann, wie z. B. eines Fehlers des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors oder eines Regelfehlers infolge einer Fehlfunktion einer elektronischen Regelungseinheit, welche einen Mikroprozessor oder dergleichen aufweist, um dadurch zu Verbesserungen der Regelgenauigkeit des Regelungssystems beizutragen.

Ein Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem der vorliegenden Erfindung weist einen Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor auf, welcher eine Ausgabe mit Bezug auf das Luft/Kraftstoff-Verhältnis einer Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung linear ändert, und das Luft/Kraftstoff-Verhältnis, wie es durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor erfaßt ist, wird einer elektronischen Regelungseinheit zugeleitet, welche einen Mikroprozessor oder dergleichen aufweist. Die elektronische Regelungseinheit bestimmt einen Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten gemäß der Differenz zwischen dem erfaßten Luft/Kraftstoff-Verhältnis und einem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis und korrigiert die der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung zuzuführende Kraftstoffmenge, um die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelung (als Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient-Bestimmungseinrichtung und Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungseinrichtung) zu realisieren.

Gemäß einem ersten Gesichtspunkt der Erfindung wird die vorstehend beschriebene Aufgabe zum Erreichen einer verbesserten Sensorfehlererfassung unter Verwendung der CPU 42 erfüllt, um das Verhältnis zwischen einem Summenwert der zweiten Ableitung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses und eines Summenwerts der zweiten Ableitung des Korrekturkoeffizienten mit einem vorbestimmten Fehlerentscheidungswert zu vergleichen, um die Fehlerdiagnose auszuführen.

Die Regelungssysteme gemäß dem Stand der Technik können die sachgemäße Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelung nicht fortsetzen, wenn ein Fehler infolge der Schädigung oder des Bruchs des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors eintritt oder wenn ein Fehler der Steuerbarkeit durch den Mikroprozessor eintritt. Gemäß einem anderen Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung werden daher der Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors und der Regelfehler des Mikroprozessors zusammen als ein Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystems definiert, so daß der Fehler hochgenau erfaßbar ist. Dies erfolgt unter Verwendung der CPU, um nicht nur die Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis und dem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis zu berechnen, sondern auch die Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten und dessen Durchschnittswert.

Andere Gesichtspunkte und Merkmale der vorliegenden Erfindung werden im Verlauf der nachstehenden Beschreibung aufgeführt.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Weitere Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden ausführlichen Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen deutlich.

Fig. 1 zeigt den Gesamtaufbau eines Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystems einer Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

Fig. 2 zeigt eine Querschnittansicht eines Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors gemäß der ersten Ausführungsform,

Fig. 3 zeigt ein Kurvenbild der Spannung-Strom-Kennlinie des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors in Fig. 2,

Fig. 4 zeigt ein Blockdiagramm zur Erläuterung des Prinzips eines Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystems gemäß der ersten Ausführungsform,

Fig. 5 zeigt einen Ablaufplan einer Kraftstoff-Einspritzmengen-Berechnungsroutine gemäß der ersten Ausführungsform,

Fig. 6 und Fig. 7 zeigen einen Ablaufplan einer Sensor-Fehlerdiagnoseroutine in der ersten Ausführungsform,

Fig. 8 und Fig. 9 zeigen einen Ablaufplan einer Routine zur Berechnung der Summenwerte $\Sigma|\Delta^2\lambda_{SM}|$ und $\Sigma|\Delta^2\lambda_{FAFSM}|$ in der ersten Ausführungsform,

Fig. 10 zeigt ein Kurvenbild einer Wechselbeziehung zwischen einem Fehlerdiagnoseparameter und einem Sensoransprechvermögen in der ersten Ausführungsform,

Fig. 11A—11H zeigen Kurvenbilder der Operationen der Fehlerdiagnose,

Fig. 12 zeigt einen Ablaufplan mit den in der Mitte des Ablaufplans in Fig. 6 einzufügenden Operationen,

Fig. 13 zeigt ein Kurvenbild zum Einstellen eines Fehlerentscheidungswerts einer Variablen in der ersten Ausführungsform,

Fig. 14 zeigt einen Ablaufplan einer Sensor-Fehlerdiagnoseroutine gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

Fig. 15 zeigt einen Ablaufplan einer Sensor-Fehlerdiagnoseroutine gemäß einer dritten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

Fig. 16 zeigt einen Ablaufplan einer Sensor-Fehlerdiagnoseroutine gemäß einer vierten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

Fig. 17 und Fig. 18 zeigen einen Ablaufplan einer Routine zur Berechnung der Summenwerte $\Sigma\Delta\lambda_{LR}$ und $\Sigma\Delta\lambda_{FLR}$,

Fig. 19 zeigt einen Ablaufplan von in die Mitte von Fig. 16 einzufügenden Operationen gemäß einer fünften bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

Fig. 20 zeigt ein Kurvenbild zum Einstellen der Fehlerentscheidungswerte δ_1 und δ_2 in der fünften Ausführungsform,

Fig. 21 zeigt ein Kurvenbild zum Einstellen des Fehlerentscheidungswerts α in anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung,

Fig. 22 zeigt ein Kurvenbild zum Einstellen der Fehlerentscheidungswerte δ_1 und δ_2 als Variablen in anderen Ausführungsformen,

- Fig. 23 zeigt ein Diagramm der Zustände des charakteristischen Fehlers und die Veränderung des Ansprechvermögens des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors,
- Fig. 24 zeigt einen Ablaufplan einer Hauptroutine zum Entscheiden eines Fehlers des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystems in der ersten Ausführungsform,
- 5 Fig. 25 zeigt einen Ablaufplan einer λ -Summenwert-Berechnungsunterroutine in der ersten Ausführungsform,
- Fig. 26 zeigt einen Ablaufplan einer FAF-Summenwert-Berechnungsunterroutine in der ersten Ausführungsform,
- Fig. 27 zeigt einen Ablaufplan einer Fehlerentscheidungsunterroutine in der ersten Ausführungsform,
- 10 Fig. 28A und Fig. 28B zeigen Kurvenbilder der Veränderung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ mit Bezug auf ein Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} und der Veränderung eines Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF mit Bezug auf einen Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient-Durchschnittswert FAFV in der ersten Ausführungsform,
- Fig. 29 zeigt ein Kurvenbild der Bereiche, welche durch die Schwellenwerte A, B, C und D zum Entscheiden des Normalzustands/Fehlerzustands des λ -Summenwerts und des FAF-Summenwerts in der ersten Ausführungsform definiert sind,
- 15 Fig. 30A—30H zeigen Kurvenbilder, welche in mehr spezifischer Weise die Fehlerentscheidungshandlung des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystems darstellen,
- Fig. 31 zeigt einen Ablaufplan einer Schwellenwert-Lernroutine gemäß der ersten Ausführungsform,
- 20 Fig. 32 zeigt einen Ablaufplan einer Fehlerentscheidungsunterroutine gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,
- Fig. 33 zeigt ein Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungs-Kurvenbild, welches gemäß dem λ -Summenwert und dem FAF-Summenwert in kleine Bereiche unterteilt ist, in der zweiten Ausführungsform,
- Fig. 34 zeigt ein Kurvenbild einer Entscheidungsbereich-Lernroutine in der zweiten Ausführungsform,
- 25 Fig. 35A und Fig. 35B zeigen Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungs-Kurvenbilder mit dem Ergebnis, welches durch die Routine in Fig. 34 gelernt wird,
- Fig. 36 zeigt ein Kurvenbild zum Bestimmen der Summierzeitdauer der Werte $T\lambda$ und $TFAF$ gemäß dem λ -Summenwert und dem FAF-Summenwert in der zweiten Ausführungsform, und
- Fig. 37 zeigt ein Kurvenbild zum Bestimmen der Anzahl der Fehlerentscheidungen gemäß dem λ -Summenwert und dem FAF-Summenwert in der zweiten Ausführungsform.
- 30

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

- Fig. 1 zeigt eine Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung, welche mit einem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem und Peripherieeinrichtungen der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung ausgestattet ist. Wie Fig. 1 zeigt, ist eine Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 eine Viertakt-Wärmekraftmaschine mit vier Zylindern und Fremdzündung. Die Ansaugluft strömt zugangsseitig durch einen Luftansaugfilter 2, ein Ansaugrohr 3, eine Drosselklappe 4, einen Beruhigungsbehälter 5 sowie einen Einlaßkrümmer 6 und wird mit dem von jedem Kraftstoffeinspritzventil 7 eingespritzten Kraftstoff in dem Einlaßkrümmer 6 vermischt, so daß
- 40 jedem Zylinder ein Gemisch mit einem vorbestimmten Luft/Kraftstoff-Verhältnis zugeführt wird. Eine Hochspannung, zugeführt von einer Zündschaltung 9, wird verteilt und einer Zündkerze 8 zugeführt, die zu jedem Zylinder der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 angeordnet ist, so daß die Zündkerze 8 das Luft/Kraftstoff-Gemisch jedes Zylinders mit einer vorbestimmten zeitlichen Abstimmung zündet. Das verbrauchte Abgas strömt durch einen Abgaskrümmer 11 sowie ein Abgasrohr 12 und wird durch einen Dreiweg-Katalysator 13, welcher in dem Abgasrohr 12 angeordnet ist, von den giftigen Bestandteilen (z. B. CO, HC und NO_x) gereinigt und wird in die Atmosphäre ausgestoßen.
- Das Ansaugrohr 3 ist mit einem Ansaugluft-Temperatursensor 21 und mit einem Ansaugluft-Drucksensor 22 ausgestattet, wobei der Temperatursensor 21 die Temperatur (d. h. die Ansauglufttemperatur T_{am}) der Ansaugluft und der Ansaugluft-Drucksensor 22 den Druck erfaßt (d. h. den Ansaugluftdruck P_m) der Ansaugluft abgangsseitig der Drosselklappe 4. Die Drosselklappe 4 ist mit einem Drosselklappensensor 23 zum Erfassen des Öffnungsgrads (d. h. der Drosselöffnung TH) der Drosselklappe 4 ausgestattet. Dieser Drosselklappensensor 23 gibt nicht nur ein Analogsignal gemäß der Drosselöffnung TH aus, sondern auch ein Erfassungssignal, welches anzeigt, daß die Drosselklappe 4 im wesentlichen vollständig geschlossen ist. Der Motorblock der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 weist einen Wassertemperatursensor 24 zum Erfassen der Temperatur (d. h. der Kühlwassertemperatur T_{hw}) des Kühlwassers in der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 auf. Die Verteilereinrichtung 10 ist mit einem Drehzahlsensor 25 zum Erfassen der Anzahl der Umdrehungen (d. h. der Motordrehzahl N_e) der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 ausgestattet. Dieser Drehzahlsensor gibt vierundzwanzig Impulssignale in einem gleichen Abstand für jeweils zwei Umdrehungen, d. h. 720 Grad CA, der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 aus.
- 60 Ein Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26, welcher durch einen Sauerstoffsensor der Grenzstromtype gebildet wird, zum Ausgeben eines linearen Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Signals über einen weiten Bereich im Verhältnis zur Sauerstoffkonzentration in dem Abgas, welches von der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 ausgestoßen wird, ist in dem Abgasrohr 12 zugangsseitig des Dreiweg-Katalysators 13 angeordnet. Ein abgangsseitiger O_2 -Sensor 27 zum Ausgeben einer Spannung $VOX2$ gemäß dem Zustand, ob das Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ mit Bezug auf das stöchiometrische Luft/Kraftstoff-Verhältnis ($\lambda = 1$) "fett" oder "mager" vorliegt, ist abgangsseitig des Dreiweg-Katalysators 13 angeordnet. Das Luft/Kraftstoff-Verhältnis wird durch das Luftüberschußverhältnis " λ " ausgedrückt, während das stöchiometrische Luft/Kraftstoff-Verhältnis ($= 1,47$) als $\lambda = 1$ ausgedrückt wird.
- 65

Ferner ist ein mit Akt. 52 beladener Behälter 52 zum Adsorbieren des aus dem Kraftstoffbehälter 50 verdampften Kraftstoffs über eine Kraftstoffbehälter-Anschlußleitung 51 mit dem mit Kraftstoff, z. B. Benzin, gefüllten Kraftstoffbehälter 50 verbunden, wobei der Kraftstoff der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 zuzuführen ist. Der Behälter 52 ist mit einem Lüftungsloch 53 zum Einlassen von Umgebungsluft versehen. Der Behälter 52 ist über eine Abgangsleitung 54 abgangsseitig einer Drosselklappe 4 mit einem Ansaugrohr 3 verbunden, so daß das vom Behälter 52 zugeführte verdampfte Benzin in den Verbindungsleitungsabschnitt (zugangsseitig des nicht gezeigten Ansaugkrümmers) des Ansaugrohrs 3 eingelassen wird.

Ein Vakuumpül-Schaltventil (VSV) 55 zum Regeln der Spülströmungsmenge gemäß einem von einer elektronischen Regelungseinheit (ECU) 41 kommenden Steuersignal ist in der Mitte der Abgangsleitung 54 angeordnet. In anderen Worten, das Steuersignal wird von der ECU 41 dem Vakuumpül-Schaltventil (VSV) 55 zugeleitet, um dadurch die Verbindung zwischen dem Behälter 52 und dem Ansaugrohr 2 über die Abgangsleitung 54 herzustellen, so daß Frischluft aus der Atmosphäre durch das Lüftungsloch 53 eingeführt wird. Da die Frischluft auf diese Weise das Innere des Behälters 52 auffrischt und in das Ansaugrohr 2 der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 gelangt, gewinnt der Behälter 52 seine Adsorptionsfunktion wieder. Die Spülströmungsmenge auf der Grundlage der Menge der zugeführten Frischluft wird zu diesem Zeitpunkt durch Verändern des Tastverhältnisses eines von der ECU 41 zum Vakuumpül-Schaltventil 55 zuzuführenden Impulssignals geregelt. Kurz gesagt, der Öffnungsgrad dieses Vakuumpül-Schaltventils 55 wird durch das Tastverhältnissignal auf der Grundlage der Impulsbreitenmodulation von der elektronischen Regelungseinheit 41 geregelt, um die Spülströmungsmenge der Luft zu regeln, welche den verdampften Kraftstoff aus dem Behälter 52 aufweist.

Fig. 2 zeigt eine Querschnittansicht des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26. In Fig. 2 weist der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 eine Abdeckung 31, einen Sensorkörper 32 und eine Heizeinrichtung 33 auf. Die Abdeckung 31 weist im allgemeinen einen U-förmigen Abschnitt auf, und deren Außenwand weist eine Vielzahl von Poren 31a auf, welche die Verbindung zwischen deren Innen- und Außenseite herstellen. Der Sensorkörper 32 erzeugt einen Grenzstrom entsprechend entweder der Sauerstoffkonzentration in einem "Mager"-Bereich des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses oder der Konzentration des unverbrannten Benzins (z. B. CO, HC und H₂) in einem "Fett"-Bereich des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses.

In dem Sensorkörper 32 ist eine abgasseitige Elektrodenschicht 36 fest an der Außenoberfläche einer Festelektrolytschicht 34 angeordnet, welche als ein becherförmiger Abschnitt ausgebildet ist, und eine außenluftseitige Elektrodenschicht 37 ist fest auf der Innenoberfläche angeordnet.

Eine eingewanderte Widerstandsschicht 35 ist durch ein Plasmasprüh-Beschichtungsverfahren auf der Außenseite der abgasseitigen Elektrodenschicht 36 ausgebildet. Die Festelektrodenschicht 34 ist aus einer gesinterten Substanz eines sauerstoffionenleitfähigen Oxids hergestellt, welche durch Feststoffauflösen von CaO, MgO, Y₂O₃ oder Yb₂O₃ als ein Stabilisator in ZrO₂, HfO₂, ThO₂ oder Bi₂O₃ erzeugt wird. Die eingewanderte Widerstandsschicht 35 ist aus einer feuerfesten anorganischen Substanz hergestellt, wie z. B. Tonerde, Magnesia, Quarzit, Spinell oder Mullit. Sowohl die abgasseitige Elektrodenschicht 36 als auch die außenluftseitige Elektrodenschicht 37 sind aus einem Edelmetall hergestellt, welches eine hohe katalytische Aktivität aufweist, wie z. B. Platin, und werden auf deren Oberflächen mit einem porösen Material chemisch aufgetragen. Die abgasseitige Elektrodenschicht 36 weist eine Fläche von etwa 10 bis 100 mm² und eine Dicke von etwa 0,5 bis 2,0 µm auf, und die außenluftseitige Elektrodenschicht 37 weist eine Fläche von 10 mm² oder größer und eine Dicke von etwa 0,5 bis 2,0 µm auf.

Die Heizeinrichtung 33 ist in der außenluftseitigen Elektrodenschicht 37 angeordnet und erhitzt den Sensorkörper 32 (einschließlich der außenluftseitigen Elektrodenschicht 37, der Festelektrolytschicht 34, der abgasseitigen Elektrodenschicht 36 und der eingewanderten Widerstandsschicht 35) durch deren Wärmeenergie. Die Heizeinrichtung 33 weist eine ausreichende Heizleistung auf, um den Sensorkörper 32 zu aktivieren.

In dem auf diese Weise aufgebauten Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 erzeugt der Sensorkörper 32 gemäß der Sauerstoffkonzentration in einem "mageren" Bereich als das stöchiometrische Luft/Kraftstoff-Verhältnis einen Grenzstrom. In diesem Fall ist der Grenzstrom entsprechend der Sauerstoffkonzentration durch die Fläche der abgasseitigen Elektrodenschicht 36, die Dicke der eingewanderten Widerstandsschicht 35, die Porosität und die durchschnittliche Porengröße bestimmt. Der Sensorkörper 32 kann die Sauerstoffkonzentration linear erfassen. Da jedoch eine hohe Temperatur von etwa 650°C oder höher erforderlich ist, um den Sensorkörper 32 zu aktivieren und da der Aktivierungstemperaturbereich des Sensorkörpers 32 relativ schmal ist, kann der Aktivierungsbereich durch Erhitzen nur mit dem Abgas der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 nicht geregelt werden. Daher wird die Heizeinrichtung 33 durch eine nachstehend beschriebene ECU 41 geregelt, so daß der Sensorkörper 32 auf einer vorbestimmten Aktivierungstemperatur gehalten wird. Innerhalb eines "Fett"-Bereichs mit Bezug auf das stöchiometrische Luft/Kraftstoff-Verhältnis ändert sich die Temperatur des unverbrannten Gases, wie z. B. Kohlenmonoxid (CO), bezüglich des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses im wesentlichen linear, so daß der Sensorkörper 32 gemäß der Konzentration des CO oder dergleichen einen Grenzstrom erzeugt.

Die Spannung-Strom-Kennlinien des Sensorkörpers 32 werden nachstehend mit Bezug auf Fig. 3 beschrieben. Die Strom-Spannung-Kennlinien in Fig. 3 zeigen, daß der in die Festelektrolytschicht 34 des Sensorkörpers 32 fließende Strom proportional zu der Sauerstoffkonzentration (oder dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis) ist, welche durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 erfaßt wird, und mit Bezug auf die an die Festelektrolytschicht 34 angelegte Spannung linear ist. Wenn der Sensorkörper 32 bei einer Temperatur T = T₁ in dem aktivierten Zustand ist, wird ein stabiler Zustand durch eine Kennlinie L₁ angezeigt, dargestellt durch eine Vollinie in Fig. 3. In diesem Fall kennzeichnen die geraden Abschnitte der Kennlinie L₁, welche parallel zu einer Spannungsachse V verlaufen, die Grenzströme des Sensorkörpers 32. Die Veränderung des Grenzstroms entspricht der Veränderung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses (d. h. "mager" oder "fett"), so daß der Grenzstrom ansteigt, wenn sich das Luft/Kraftstoff-Verhältnis zu der "Mager"-Seite verschiebt, und sich vermindert, wenn sich das Luft/Kraftstoff-

Verhältnis zu der "Fett"-Seite abhingt.

Der Bereich der Spannung-Strom-Kennlinie, in welchem die Spannung niedriger als der Pegel entsprechend den geraden Abschnitten, parallel zu der Spannungsachse V, ein widerstandsbestimmter Bereich ist. Der Anstieg der Kennlinie L1 innerhalb des widerstandsbestimmten Bereichs wird durch den Innenwiderstand der Festelektrolytschicht 34 in dem Sensorkörper 32 ausgedrückt. Da sich der Innenwiderstand der Festelektrolytschicht 34 mit der Temperatur ändert, so daß der Widerstand zunimmt, wenn die Temperatur des Sensorkörpers 32 sinkt, wird der Anstieg geringer. Wenn die Temperatur T des Sensorkörpers 32 T_2 ist, niedriger als T_1 , wird die Strom-Spannung-Kennlinie durch eine Kennlinie L2 definiert, wie durch die gestrichelte Linie in Fig. 3 gezeigt ist. Die geraden Abschnitte der Kennlinie L2, parallel zu der Spannungsachse V, spezifizieren die Grenzströme des Sensorkörpers 32 bei $T = T_2$. Die Grenzströme sind im wesentlichen gleich jenen, welche durch die Kennlinie L1 bestimmt sind.

Wie die Kennlinie L1 weiterhin zeigt, wird der durch den Sensorkörper 32 fließende Strom ein Grenzstrom I_{pos} (wie im Punkt Pa in Fig. 3 bezeichnet), wenn eine positive Spannung V_{pos} an die Festelektrolytschicht 34 des Sensorkörpers 32 angelegt wird. Wenn eine negative Spannung V_{neg} an die Festelektrolytschicht 34 des Sensorkörpers 32 angelegt wird, ist andererseits der durch den Sensorkörper 32 fließende Strom nicht von der Sauerstoffkonzentration abhängig, sondern nur proportional zur Temperatur (wie im Punkt Pb in Fig. 3 bezeichnet).

Eine elektronische Regelungseinheit ("ECU") zum Regeln des Betriebs der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 in Fig. 1 weist eine Logikoperationsschaltung mit einer CPU (Zentrale Verarbeitungseinheit) 42, einen ROM (Nur-Lese-Speicher) 43, einen RAM (Direktzugriffsspeicher) 44 und einen Datensicherungs-RAM 45 auf. Die CPU 41 ist durch einen Bus 48 mit einem Eingabeport 46 zum Eingeben der Erfassungssignale der vorstehend erwähnten einzelnen Sensoren und mit einem Ausgabeport 47 zum Ausgeben der Steuersignale an die einzelnen Betätigungseinrichtungen verbunden. Die ECU 41 nimmt die Ansauglufttemperatur T_{am} , den Ansaugluftdruck PM, die Drosselöffnung TH, die Kühlwassertemperatur T_{hw} , die Motordrehzahl Ne, das Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Signal usw. von den einzelnen Sensoren durch den Eingabeport 46 auf. Auf der Grundlage dieser Werte berechnet die ECU 41 die Steuersignale bezüglich einer Kraftstoff-Einspritzmenge TAU, einer zeitlichen Abfolge der Zündung Ig usw. und gibt diese Steuersignale durch den Ausgabeport 47 an das Kraftstoff-Einspritzventil 7, die Zündschalteinrichtung 9 usw. aus. Die ECU 41 führt den nachstehend beschriebenen Fehlerentscheidungsprozeß aus, um zu diagnostizieren, ob ein Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystems vorliegt oder nicht. Wenn ein Fehler vorliegt, schaltet die ECU 41 ein Warnlicht 49 ein, um den Fahrzeugführer auf das Eintreten des Fehlers aufmerksam zu machen.

Ein Verfahren, wie es entwickelt wurde, um die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelung in dem vorstehend erwähnten Kraftstoffeinspritz-Regelungssystem auszuführen, wird nachstehend beschrieben. Das nachstehende Verfahren ist in der japanischen Offenlegungsschrift Nr. 1-110853 beschrieben worden.

(1) Modellierung des Regelungsobjekts

Ein selbstwiederholendes Bewegungsdurchschnittsmodell 1 ersten Grades mit einer Totzeit $P = 3$ wird zur Regelung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 verwendet, und eine äußere Störung d wird für die Approximation berücksichtigt.

Das Modell des Systems unter Verwendung des selbstwiederholenden Bewegungsdurchschnittsmodells zur Regelung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ kann durch die Gleichung (1) angenähert werden:

$$\lambda(k) = a \cdot \lambda(k-1) + b \cdot FAF(k-3) \quad (1)$$

wobei FAF ein Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient ist, a und b Koeffizienten zum Bestimmen des Ansprechvermögens des Modells bezeichnen und k die Anzahl der Regelungsoperationen ist, welche nach dem Beginn der ersten Abtastung ausgeführt werden.

Unter Berücksichtigung der äußeren Störung d, kann das Steuersystemmodell durch die Gleichung (2) angenähert werden:

$$l(k) = a \cdot l(k-1) + b \cdot FAF(k-3) + d(k-1) \quad (2)$$

Für das auf diese Weise angenäherte Modell ist es leicht, die Modellkonstanten a und b, d. h. eine Übertragungsfunktion G des Systems zur Regelung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ durch diskretes Abtasten bei einem Umlauf (360° CA) unter Verwendung einer Schrittantwort zu bestimmen.

(2) Verfahren zur Angabe der Zustandsmenge der Variablen X (wobei X: Vektormenge)

Unter Verwendung einer Zustandsvariablenmenge $X(k) = [X_1(k), X_2(k), X_3(k), X_4(k)]^T$ kann die Gleichung (2) in die Matrixgleichung (3) umgeschrieben werden und dann in die Gleichungen (4a)–(4d). Hier stellt T eine gestürzte Matrix dar.

$$\begin{bmatrix} X1(k+1) \\ X2(k+2) \\ X3(k+3) \\ X4(k+4) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X1(k) \\ X2(k) \\ X3(k) \\ X4(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} FAF(k) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} d(k) \quad \dots (3)$$

und

$$X1(k+1) = aX1(k) + bX2(k) + d(k) = \lambda(k+1) \quad (4a)$$

$$X2(k+1) = FAF(k-2) \quad (4b)$$

$$X3(k+1) = FAF(k-1) \quad (4c)$$

$$X4(k+1) = FAF(k) \quad (4d)$$

(3) Aufbau des Reglers

Wenn ein Regler auf der Grundlage der Gleichungen (3) und (4a)–(4d) aufgebaut wird, kann der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient FAF durch die Gleichung (5) unter Verwendung der optimalen Rückführungsverstärkung $K = [K1, K2, K3, K4]$ und einer Zustandsvariablenmenge $X^T(k) = [1(k), FAF(k-3), FAF(k-2), FAF(k-1)]$ ausgedrückt werden:

$$FAF(k) = K \cdot X^T(k) = K1 \cdot (k) + K2 \cdot FAF(k-3) + K3 \cdot FAF(k-2) + K4 \cdot FAF(k-1) \quad (5)$$

Durch Hinzufügen eines Integrationsausdrucks $ZI(k)$ zur Gleichung (5) zum Absorbieren von Fehlern kann der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient FAF durch die Gleichung (6) ausgedrückt werden:

$$FAF(k) = K1 \cdot (k) + K2 \cdot FAF(k-3) + K3 \cdot FAF(k-2) + K4 \cdot FAF(k-1) + ZI(k) \quad (6)$$

Der Integrationsausdruck $ZI(k)$ ist ein Wert, bestimmt durch eine Differenz zwischen einem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} und einem tatsächlichen Luft/Kraftstoff-Verhältnis $\lambda(k)$ und durch eine Integrationskonstante Ka , wie durch Gleichung (7) dargestellt wird:

$$ZI(k) = ZI(k-1) + Ka \cdot (\lambda_{TG} - \lambda(k)) \quad (7)$$

Fig. 4 zeigt ein Blockdiagramm eines Luft/Kraftstoff-Verhältnis- λ -Regelungssystems, für welches das vorstehend erwähnte Modell gestaltet worden ist. Wie in Fig. 4 gezeigt, verwendet das Modell eine Z^{-1} -Transformation, um einen Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten $FAF(k)$ von $FAF(k-1)$ herzuleiten. Für diese Operation wird der vorhergehende Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient $FAF(k-1)$ in dem RAM 44 gespeichert und dann bei der folgenden zeitlichen Abstimmung der Steuerung gelesen. Der Ausdruck "FAF(k-1)" stellt den letzten Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten dar. Der Ausdruck "FAF(k-2)" stellt den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten dar, welcher dem Ausdruck $FAF(k-1)$ unmittelbar vorhergeht, und der Ausdruck "FAF(k-3)" stellt den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten dar, welcher dem Ausdruck "FAF(k-2)" unmittelbar vorhergeht.

Der Block P1, welcher in Fig. 4 durch die Strich-Punkt-Punkt-Linie eingeschlossen ist, zeigt einen Abschnitt zum Bestimmen der Zustandsvariablenmenge $X(k)$ dar, während das Luft/Kraftstoff-Verhältnis $\lambda(k)$ einer Rückführungsregelung zum Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} unterzogen wird. Der Block P2 zeigt einen Abschnitt (oder Summierungsabschnitt) zum Bestimmen des Integrationsausdrucks $ZI(k)$ an. Der Block P3 zeigt einen Abschnitt zum Berechnen des vorliegenden Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten $FAF(k)$ auf der Grundlage der Zustandsvariablenmenge $X(k)$ an, wie durch den Block P1 bestimmt, und den Integrationsausdruck $ZI(k)$, wie durch den Block P2 bestimmt ist.

(4) Bestimmung der optimalen Rückführungsverstärkung K und der Integrationskonstante Ka

Die optimale Rückführungsverstärkung K und die Integrationskonstante Ka können z. B. durch Minimieren einer Bewertungsfunktion J bestimmt werden, wie durch Gleichung (8) dargestellt ist:

$$J = \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ Q (\lambda(k) - \lambda_{TG})^2 + R (FAF(k) - FAF(k-1))^2 \right\} \quad \dots (8)$$

In Gleichung (8) ist jedoch beabsichtigt, daß die Bewertungsfunktion J das Verhalten des Luft/Kraftstoff-Ver-

hältnis-Korrekturkoeffizient $F(k)$ beschränkt und die Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis $\lambda(k)$ und dem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} minimiert. Die Wichtung der Bestimmung des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten $FAF(k)$ kann durch Änderung der Werte der Gewichtsparameter Q und R abgestimmt werden. Somit können die optimalen Rückführungsverstärkung K und die Integrationskonstante K_a durch wiederholte Simulationen mit Änderungen der Gewichtsparameter Q und R , bis die optimale Regelkennlinie erhalten wird, bestimmt werden.

Die optimale Rückführungsverstärkung K und die Integrationskonstante K_a sind auch von den Modellkonstanten a und b abhängig. Um eine ausreichende Stabilität (oder Robustheit) des Systems trotz der Schwankungen (der Parameter) des Systems zur Regelung des tatsächlichen Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ zu gewährleisten, ist die Veränderung der Modellkonstanten a und b abzuschätzen, um die optimale Rückführungsverstärkung K und die Integrationskonstante K_a zu bestimmen. Somit wird die Simulation unter Berücksichtigung der tatsächlich möglichen Veränderung der Modellkonstanten a und b ausgeführt, um dadurch die optimale Rückführungsverstärkung K und die Integrationskonstante K_a zu bestimmen, welche eine ausreichende Stabilität gewährleisten.

Das vorstehend beschriebene System nimmt an, daß (1) das Modell des Regelobjekts, (2) das Verfahren zur Angabe der Zustandsvariablenmenge, (3) die Gestaltung des Reglers und (4) die Bestimmung der optimalen Rückführungsverstärkung und der Integrationskonstante bereits vorliegen. Die ECU 41 geht auch von der Annahme aus, nur die Gleichungen (6) und (7) zu verwenden, um die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelung in dem Kraftstoffeinspritz-Regelungssystem auszuführen.

Fig. 5 zeigt einen Ablaufplan der durch die CPU 42 in der ECU 41 auszuführenden Kraftstoffeinspritzmengen-Berechnungsroutine. Diese Routine wird synchron zu den Drehungen der Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 ausgeführt, d. h. bei jeweils 360° CA. Der in Fig. 5 gezeigte Prozeß entspricht der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient-Bestimmungseinrichtung und der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungseinrichtung.

Die CPU 42 berechnet im Schritt 101 eine Kraftstoffeinspritz-Grundmenge TP auf der Grundlage des Ansaugluftdrucks PM , der Motordrehzahl Ne usw. und entscheidet im Schritt 102, ob die Bedingungen für die Rückführung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ erfüllt worden sind oder nicht. Wie allgemein bekannt ist, sind die Rückführungsbedingungen dann erfüllt, wenn die Kühlwassertemperatur Thw nicht niedriger als ein vorbestimmter Wert ist und wenn die Motoroperation nicht in einem Hochdrehzahlbereich oder in einem Hochlastbereich erfolgt. Sind die Rückführungsbedingungen erfüllt, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 103, in welchem der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient FAF zum Umwandeln des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ in das Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} (für das stöchiometrische Luft/Kraftstoff-Verhältnis $\lambda = 1$) bestimmt wird, und geht dann zum Schritt 104. Genauer gesagt, im Schritt 103 wird unter Verwendung der Gleichungen (6) und (7) auf der Grundlage des Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ_{TG} und des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses $\lambda(k)$, welches durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 erfaßt ist, der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient FAF berechnet.

Sind die Rückführungsbedingungen im Schritt 102 nicht erfüllt, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 105, in welchem der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient FAF auf "1,0" eingestellt wird, und geht weiter zum Schritt 104. Hier bedeutet $FAF = 1,0$, daß keine Korrektur des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ erfolgt, so daß die sogenannte "rückführungslose Steuerung" ausgeführt wird.

Im Schritt 104 bestimmt die CPU 42 die Kraftstoffeinspritzmenge TAU auf der Grundlage der Kraftstoffeinspritzgrundmenge TP , des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF und eines anderen Korrekturkoeffizienten $FALL$ gemäß Gleichung (9):

$$TAU = TP \cdot FAF \cdot FALL \quad (9)$$

Dann wird auf der Grundlage der Kraftstoffeinspritzmenge TAU ein Steuersignal an das Kraftstoffeinspritzventil 7 ausgegeben, um die Ventilöffnungsdauer zu steuern, d. h. die tatsächliche Kraftstoffeinspritzdauer des Kraftstoffeinspritzventils 7, so daß das Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ mit dem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} abgestimmt wird.

Die Bestimmung des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF gemäß der Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ und dem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} (d. h. $\lambda_{TG} = 1,0$) ist vorstehend beschrieben worden. Das Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem funktioniert jedoch nicht normal, wenn der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 unnormal wirksam ist oder wenn eine Regelabweichung (oder ein Fehler der Rückführungsverstärkung) durch die CPU 42 verursacht ist. Ob das Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem einen Fehler aufweist oder nicht, wird auf der Grundlage eines Fehlerentscheidungselements diagnostiziert, welches aus dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ , bestimmt durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26, und dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient FAF abgeleitet wird.

(Erste Ausführungsform)

Eine erste bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nachstehend in Verbindung mit Fig. 6—13 beschrieben. Wie in Fig. 6 gezeigt, wenn die Routine eingeleitet wird, bestimmt die CPU 42 im Schritt 201 den Aktivierungszustand des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26. Wenn die Elementtemperatur des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 (d. h. die Temperatur des Sensorkörpers 32) nicht geringer als 650°C ist oder der Widerstand des Elements des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 nicht größer als $90\ \Omega$ ist, wird entschieden, daß der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 aktiviert ist. Die CPU 42 entscheidet im Schritt 202, ob ein Fehler anders als jener des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 erfaßt ist oder nicht. Diese Entscheidung wird

getroffen, um zu gewährleisten, daß ein anderer Fehler die Fehlerdiagnose Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 nicht beeinflusst.

Anschließend berechnet der Prozeß die Summenwerte $\Sigma|\Delta^2\lambda SM|$ und $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ im Schritt 300, wie nachstehend ausführlicher beschrieben ist. Dann entscheidet die CPU 42 im Schritt 203, ob ein Summierzeitähler CDG1 einen vorbestimmten Wert KX1 erreicht oder nicht (d. h. einen numerischen Wert entsprechend einer Summierzeitdauer von 30 Sekunden in der vorliegenden Ausführungsform). Die CPU 42 beendet die vorliegende Routine wie sie ist, wenn $CDG1 \neq KX1$ ist und geht weiter zum Schritt 204, wenn $CDG1 = KX1$. Die CPU 42 vergleicht und entscheidet im Schritt 204 einen Fehlerdiagnoseparameter, d. h. das Verhältnis zwischen den Summenwerten $\Sigma|\Delta^2\lambda SM|$ und $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ und einem vorbestimmten Fehlerentscheidungswert α . In spezifischer Weise entscheidet sie, ob die Ungleichung (10) erfüllt ist oder nicht:

$$\Sigma|\Delta^2FAFSM|/\Sigma|\Delta^2\lambda SM| < \alpha \quad (10)$$

Das Erfüllen dieser Ungleichung bedeutet, daß sich das Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ und der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient FAF mit zufriedenstellenden Änderungsgeschwindigkeiten verändern, während sie zueinander in Wechselbeziehung stehen und z. B. der Erhaltung des Ansprechvermögens des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 entsprechen. Hier zeigt Fig. 10 eine Kennlinie La der Beziehung des Sensoransprechvermögens und des Fehlerdiagnoseparameters $(\Sigma|\Delta^2FAF|)/(\Sigma|\Delta^2\lambda|)$ (wobei $\Sigma|\Delta^2FAF|$ und $\Sigma|\Delta^2\lambda|$ angenehmerweise die ungerundet belassenen Parameterwerte zeigen). Wenn der Bezug zur Entscheidung der Richtigkeit des Sensoransprechvermögens z. B. mit 500 ms erfolgt, wie in Fig. 10 gezeigt ist, wird der Fehlerentscheidungswert α entlang der Kennlinie La eingestellt. Gemäß dieser Kennlinie La in Fig. 10 wird der numerische Wert von $(\Sigma|\Delta^2FAF|)/(\Sigma|\Delta^2\lambda|)$ für das geringe Sensoransprechvermögen größer, so daß der Fehlerdiagnoseparameter, wie in Fig. 10 auf der Ordinate gezeigt, das Sensoransprechvermögen besser für die Entscheidung des Sensorfehlers angenehm widerspiegelt.

Wie in der nachstehenden Ungleichung (11) gezeigt, kann aus der vorstehenden Beschreibung bestimmt werden, daß der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 fehlerfrei ist, wenn

$$\Sigma|\Delta^2FAFSM|/\Sigma|\Delta^2\lambda SM| < \alpha \quad (11)$$

und daß der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 fehlerhaft ist, wie in der Ungleichung (12) gezeigt ist, wenn

$$\Sigma|\Delta^2FAFSM|/\Sigma|\Delta^2\lambda SM| \geq \alpha \quad (12)$$

Wenn die Antwort im Schritt 204 der Fig. 6 JA ist, bestimmt die CPU 42, daß der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 fehlerfrei ist und geht zum Schritt 205. Ist die Antwort im Schritt 204 NEIN, bestimmt die CPU 42, daß der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 fehlerhaft ist und geht weiter zum Schritt 207. Im Schritt 205 hält die CPU 42 einen Fehlerentscheidungszähler CDG3 an und inkrementiert im Schritt 206 einen den fortbestehenden Normalzustand entscheidenden Zähler CDG4 um "1". Im Schritt 207 inkrementiert die CPU 42 andererseits den Fehlerentscheidungszähler CDG3 um "1" und setzt im Schritt 208 den den fortbestehenden Normalzustand entscheidenden Zähler CDG4 auf "0" zurück.

Dann setzt die CPU 42 im Schritt 209 den Summenwert $\Sigma|\Delta^2\lambda SM|$ auf "0" zurück und setzt im Schritt 210 $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ auf "0" zurück. Die CPU 42 setzt den Summierzeitähler CDG1 auf "0" zurück.

Dann geht die CPU 42 weiter zum Schritt 212 in Fig. 7, um einen Fehlerdiagnose-Ausführungszähler CDG2 um "1" zu inkrementieren, und geht zum Schritt 213, um zu entscheiden, ob der Fehlerdiagnose-Ausführungszähler CDG2 einen vorbestimmten Wert KX2 (z. B. $KX2 = 3$ in der vorliegenden Ausführungsform) erreicht oder nicht. In diesem Fall beendet die CPU 42 die vorliegende Routine, so wie sie ist, wenn $CDG2 \neq KX2$ ist, und geht weiter zum Schritt 214, wenn $CDG2 = KX2$ ist, um zu entscheiden, ob der Fehlerentscheidungszähler CDG3 zu diesem Zeitpunkt nicht geringer als ein vorbestimmter Wert KX3 ist (z. B. $KX3 = 2$ in der vorliegenden Ausführungsform).

Die Operation dieses Schritts 214 entspricht im wesentlichen der Entscheidung beim Auftreten des Fehlers. Wenn $CDG3 < KX3$ ist, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 215, um ein Fehlerentscheidungsflag XDGAUF auf "0" zu setzen. Dieses Fehlerentscheidungsflag XDGAUF wird durch die abschließende Entscheidung beim Auftreten des Fehlers bewirkt und zeigt bei XDGAUF = 0 an, daß kein Fehler vorliegt, und bei XDGAUF = 1, daß ein Fehler aufgetreten ist.

Wenn andererseits im Schritt 214 $CDG3 \geq KX3$ ist, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 216, um das Fehlerentscheidungsflag XDGAUF auf "1" zu setzen. Gemäß dieser Flagoperation schaltet die CPU 42 im Schritt 217 ein Warnlicht 49 ein. Zu diesem Fehlerentscheidungszeitpunkt ist eine Diagnose ausführbar, um die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelung zusätzlich zum Einschalten des Warnlichts 49 anzuhalten.

Dann setzt die CPU 42 in den Schritten 218 und 219 sowohl den Fehlerdiagnose-Ausführungszähler CDG2 als auch den Fehlerentscheidungszähler CDG3 auf "0" zurück.

Daraufhin entscheidet die CPU 42 im Schritt 220, ob der den fortbestehenden Normalzustand entscheidende Zähler CDG4 einen Wert aufweist, welcher nicht niedriger als ein vorbestimmter Wert KX4 ist (z. B. $KX4 = 4$ in der vorliegenden Ausführungsform) oder nicht, und entscheidet im Schritt 221, ob das Warnlicht 49 nun eingeschaltet ist oder nicht, d. h., ob das Fehlerentscheidungsflag XDGAUF gesetzt ist oder nicht.

Ist die Antwort im Schritt 220 oder im Schritt 221 NEIN, beendet die CPU 42 die vorliegende Routine wie sie ist. Wenn beide Antworten in den Schritten 220 und 221 JA sind, schreitet die CPU 42 weiter zum Schritt 222, um das Warnlicht 49 auszuschalten, und beendet dann die gegenwärtige Routine. Gleichzeitig dazu wird das Fehlerentscheidungsflag XDGAUF auf "0" zurückgesetzt.

Die vorstehend erwähnten Operationen der Schritte 220 bis 222 werden ausgeführt, um anzuzeigen, daß der Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 zeitweise auftritt, und daß der Fehlerzustand vermieden ist. Diese Operationen werden erneut ausgeführt, wenn die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelung in der Fehlerdiagnosezeit angehalten wird.

- 5 Die in Fig. 8 und Fig. 9 gezeigten Ablaufpläne beschreiben den ausführlichen Prozeß des Schritts 300 in Fig. 6, d. h. die Prozesse der Berechnung der Summenwerte $\Sigma|\Delta^2\lambda_{SM}|$ und $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$.

Wenn die in Fig. 8 gezeigte Routine eingeleitet wird, berechnet die CPU 42 in den Schritten 302 bis 304 die zweite Ableitung $\Delta^2\lambda_{SMi}$ (entsprechend der Beschleunigung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ) unter Verwendung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ , wie es durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 erfaßt ist, und berechnet in den Schritten 305 bis 307 die zweite Ableitung Δ^2FAFSM_i (entsprechend der Beschleunigung des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF) unter Verwendung des Korrekturkoeffizienten FAF, unter der Bedingung, daß die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Rückführung ausgeführt wird (d. h., unter der Bedingung, daß die Diagnosebedingung des Schritts 301 erfüllt ist).

15 Kurz gesagt, die CPU 42 liest im Schritt 302 das A/D-gewandelte Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ und filtert im Schritt 303 das gelesene Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ . Diese Filteroperation wird ausgeführt, um den Einfluß der Streuung zwischen den Zylindern der Wärmekraftmaschine auszuschließen, und ein geglätteter Wert λ_{SMi} wird durch die folgende Gleichung (13) bestimmt:

$$\lambda_{SMi} = \lambda_{SMi-1} + (\lambda - \lambda_{SMi-1})/k \quad (13)$$

20 Hier entspricht der Index "i" der Anzahl der Operationen durch die CPU 42, der tiefgestellte Wert von i zeigt den vorliegenden Wert, wobei der tiefgestellte Wert von (i-1) den vorhergehenden Wert zeigt, und k ist die Anzahl der Regeloperationen.

Im Schritt 304 berechnet die CPU 42 die zweite Ableitung $\Delta^2\lambda_{SMi}$ des Glättungswerts λ_{SMi} unter Verwendung der folgenden Gleichung (14):

$$\Delta^2\lambda_{SMi} = (2\lambda_{SMi} - 2\lambda_{SMi-1}) - (2\lambda_{SMi-1} - 2\lambda_{SMi-2}) \quad (14)$$

30 Im Schritt 305 liest die CPU 42 den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF und filtert im Schritt 306 den vorhergehend gelesenen Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF. In dieser Filteroperation wird ein Glättungswert FAFSM_i aus der folgenden Gleichung (15) bestimmt:

$$FAFSM_i = FAFSM_{i-1} + (FAF - FAFSM_{i-1})/k \quad (15)$$

35 Im Schritt 307 berechnet die CPU 42 die zweite Ableitung Δ^2FAFSM_i des Glättungswerts FAFSM_i unter Verwendung der folgenden Gleichung (16):

$$\Delta^2FAFSM_i = (FAFSM_i - FAFSM_{i-1}) - (FAFSM_{i-1} - FAFSM_{i-2}) \quad (16)$$

40 Dann entscheidet die CPU 42 in den Schritten 308 bis 310, ob die Bedingungen (d. h. die Summierungsbedingungen) zum Summieren der zweiten Ableitungen $\Delta^2\lambda_{SMi}$ und Δ^2FAFSM_i erfüllt sind.

In anderen Worten, die CPU 42 entscheidet im Schritt 308, ob das Warmlaufen der Wärmekraftmaschine abgeschlossen ist oder nicht. In spezifischer Weise entscheidet die CPU 42, ob eine Kühlwassertemperatur Thw eine vorbestimmte Höhe Y1 (z. B. 80° C) überschreitet oder nicht. Die CPU 42 entscheidet im Schritt 309, ob die Laufbedingungen die vorbestimmten Bedingungen erfüllen oder nicht. Genauer gesagt, es wird einzeln entschieden, ob eine Motordrehzahl Ne innerhalb eines vorbestimmten Bereiches Y2 bis Y3 (z. B. 600 bis 4000 min⁻¹) ist oder nicht, ob eine Fahrzeuggeschwindigkeit SPD innerhalb eines vorbestimmten Bereiches Y4 bis Y5 (z. B. 0 bis 120 km/h) ist oder nicht, und ob ein Ansaugluftdruck PM innerhalb eines vorbestimmten Bereiches Y6 bis Y7 (z. B. 25 bis 95 kPa) ist oder nicht. Die CPU 42 entscheidet im Schritt 310, ob die Laufbedingung für eine plötzliche Beschleunigung ist oder nicht. In spezifischer Weise wird entschieden, ob die Änderung ΔPM des Ansaugluftdrucks niedriger als ein vorbestimmter Wert ist oder nicht.

50 In dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem der vorliegenden Ausführungsform sind der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 und die Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 im Modell nachgebildet. Wenn die vorstehend erwähnten Summierungsbedingungen unter den Anpassungsbedingungen für das Modell erfüllt sind, ist die Ungleichung (17) als das Verhalten des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ und des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF erfüllt:

$$\Delta^2\lambda_{SMi} < \Delta^2FAFSM_i \quad (17)$$

60 Wenn alle vorstehend erwähnten Summierungsbedingungen der Schritte 308 bis 310 erfüllt sind, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 311 in Fig. 9, um einen neuen Summenwert $\Sigma|\Delta^2\lambda_{SM}|$ durch Addieren des Absolutwerts der zweiten Ableitung $\Delta^2\lambda_{SMi}$, wie zu diesem Zeitpunkt berechnet, zu dem vorhergehenden Summenwert $\Sigma|\Delta^2\lambda_{SM}|$ zu berechnen ($\Sigma|\Delta^2\lambda_{SM}| = \Sigma|\Delta^2\lambda_{SM}| + |\Delta^2\lambda_{SMi}|$). Die CPU 42 berechnet im Schritt 312 einen neuen Summenwert $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ durch Addieren des Absolutwerts der zweiten Ableitung Δ^2FAFSM_i wie zu diesem Zeitpunkt berechnet, zu dem vorhergehenden Summenwert $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ ($\Sigma|\Delta^2FAFSM| = \Sigma|\Delta^2FAFSM| + |\Delta^2FAFSM_i|$).

Schließlich inkrementiert die CPU 42 im Schritt 313 den Summierzeitähler CDG1 um "1" und beendet die vorliegende Routine.

Wenn die vorstehend erwähnte Diagnosebedingung im Schritt 301 nicht ist oder wenn eine der Summierungsbedingungen der Schritte 308 bis 310 nicht erfüllt sind, geht die CPU 42 weiter zu dem Schritt 314 in Fig. 9. Die CPU 42 hält in den Schritten 314 und 315 die Summenwerte $\Sigma|\Delta^2\lambda SM|$ und $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ fest und hält im Schritt 316 den Summierzeitähler CDG1 an, um die vorliegende Routine zu beenden.

Die vorstehend erwähnte Fehlerdiagnoseroutine durch die CPU 42 wird mit Bezug auf die in Fig. 11A—11H gezeigten Kurvenbilder spezifisch beschrieben. In Fig. 11A—11H wird der Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 nicht vor, sondern nach einem Zeitpunkt t1 erfaßt. Andererseits werden die Summierungsbedingungen (d. h. die Bedingungen der vorstehend erwähnten Schritte 308 bis 310) gewöhnlich wiederholt erfüllt und nicht erfüllt zum Zeitpunkt t1 und vor dem Zeitpunkt t1. Zur Vereinfachung wird hier angenommen, daß die Summierungsbedingungen immer zum Zeitpunkt t1 und nach dem Zeitpunkt t1 erfüllt sind. Es wird auch vereinfachend angenommen, daß die Diagnosebedingung (d. h. die Fehlerbedingung im Schritt 301 der Fig. 8) erhalten bleibt, wenn sie einmal erfüllt ist.

In diesem Fall, wie in Fig. 11C—11E gezeigt, werden der Summierzeitähler CDG1 und die Summenwerte $\Sigma|\Delta^2\lambda SM|$ und $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ einzeln eingestellt, wenn die Diagnosebedingungen und die Summierungsbedingungen erfüllt sind, und werden auf den Werten gehalten, wenn dieselben nicht erfüllt sind.

Die in Fig. 11A—11H gezeigten Kurvenbilder werden nacheinander beschrieben. Zum Zeitpunkt t1 und vor dem Zeitpunkt t1 erreicht der Summierzeitähler CDG1 den vorbestimmten Wert KX1 zu einem Zeitpunkt t0, und die Fehlerdiagnose wird dann ausgeführt (im Schritt 204 der Fig. 6), wie in Fig. 11C gezeigt ist, unter Verwendung des Verhältnisses zwischen den Summenwerten $\Sigma|\Delta^2\lambda SM|$ (in Fig. 11D) und $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ (in Fig. 11E). Zum Zeitpunkt t1 und vor dem Zeitpunkt t1 wird die Ungleichung (18) erfüllt (d. h., die Antwort im Schritt 204 der Fig. 6 ist JA):

$$\Sigma|\Delta^2FAFSM|/\Sigma|\Delta^2\lambda SM| < \alpha \quad (18)$$

Demzufolge wird der Fehlerentscheidungszähler CDG3 in Fig. 11G nicht inkrementiert. Zu diesem Zeitpunkt t0 wird der Fehlerdiagnose-Ausführungszähler CDG2 in Fig. 11F inkrementiert, und dieser Zählwert erreicht den vorbestimmten Wert KX2 (= 3) (d. h., die Antwort im Schritt 213 der Fig. 7 ist JA), so daß der Fehlerdiagnose-Ausführungszähler CDG2 auf "0" zurückgesetzt wird. In diesem Fall ist der Fehlerentscheidungszähler CDG3 = 3, so daß das Fehlerentscheidungsflag XDGAf in Fig. 11H auf "0" erhalten wird.

Zum Zeitpunkt t1 und nach dem Zeitpunkt t1 wird der Fehlerdiagnose-Ausführungszähler CDG2 zu den Zeitpunkten t2, t3 und t4 inkrementiert. Zu diesem Zeitpunkt t2 wird die Ungleichung (19) erfüllt (d. h., die Antwort im Schritt 204 der Fig. 6 ist JA):

$$\Sigma|\Delta^2FAFSM|/\Sigma|\Delta^2\lambda SM| < \alpha \quad (19)$$

Andererseits wird zu den Zeitpunkten t3 und t4 die Ungleichung (20) erfüllt (d. h., die Antwort im Schritt 204 der Fig. 6 ist NEIN):

$$\Sigma|\Delta^2FAFSM|/\Sigma|\Delta^2\lambda SM| \geq \alpha \quad (20)$$

so daß der Fehlerentscheidungszähler CDG3 inkrementiert wird. Demzufolge erreicht der Fehlerentscheidungszähler CDG3 zum Zeitpunkt t4 den vorbestimmten Wert KX3 (= 2) (d. h., die Antwort im Schritt 214 der Fig. 7 ist JA), so daß das Fehlerentscheidungsflag XDGAf gesetzt wird (im Schritt 216 der Fig. 7). Gemäß dieser Flagoperation wird das Warnlicht 49 eingeschaltet.

Wenn die Fehlererscheinung vorübergehend ist, so daß die Antwort im Schritt 204 der Fig. 6 wieder JA ist, wird deren Anzahl durch den den fortbestehenden Normalzustand entscheidenden Zähler CDG4 (nicht gezeigt) gezählt. Wenn der Normalzustand des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 fortbesteht, so daß der Zählwert desselben Zählers CDG4 den Wert KX4 (= 4) annimmt (d. h., die Antwort im Schritt 220 der Fig. 7 ist JA), wird das Fehlerentscheidungsflag XDGAf zurückgesetzt, und das Warnlicht 49 wird ausgeschaltet.

Die folgenden Wirkungen können gemäß der vorliegenden Ausführungsform erreicht werden, welche so weit ausführlich beschrieben ist.

(a) Das durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 erfaßte Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ und der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient FAF sind unterschiedlich, wenn jeweils ihre Empfindlichkeit verglichen wird, und dieser Unterschied ist herausragend, wenn der Sensor fehlerhaft wird und sein Ansprechvermögen geringer wird. Wenn daher das Verhältnis zwischen der Änderungsgeschwindigkeit des erfaßten Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ und die Änderungsgeschwindigkeit des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF als der Fehlerdiagnoseparameter verwendet wird, so daß der Parameter verglichen wird, ist der Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 genau diagnostizierbar. Selbst wenn in diesem Fall der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient FAF verändert wird, bei Anwendung auf ein reelles System, durch die Veränderung des Verdampfungsspül- oder des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Lernwerts, ist der Berechnungsfehler des Fehlerdiagnoseparameters vermindert, um die fehlerhafte Erfassung der Fehlerdiagnose zu verhindern.

Da weiterhin die Verdampfungsspülung den Fehlerdiagnoseparameter nicht ohne weiteres beeinflußt, kann die Ausführung der Fehlerdiagnose weniger beschränkt werden, um die Ausführungshäufigkeit der Fehlerdiagnose zu erhöhen. Demzufolge ist ein hochzuverlässiges Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem realisierbar, um Nachteile zu unterdrücken, wie z. B. die Verschlechterung der Qualität der Emissionssteuerung. In der

vorliegenden Ausführungsform werden die Diagnosebedingungen und die Summierebedingungen durch den vorstehend erwähnten Ablaufplan in Fig. 8 wirklich eingestellt, aber diese Bedingungen weisen relativ lockere Beschränkungen auf, so daß sie die Diagnosehäufigkeit des Sensorfehlers nicht wesentlich vermindern.

- (b) Besonders in der vorliegenden Ausführungsform werden die zweiten Ableitungen $\Delta^2\lambda_{SM}$ des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ für die vorbestimmte Zeitdauer summiert, so daß ihr Summenwert $\Sigma|\Delta^2\lambda_{SM}|$ als die Änderungsgeschwindigkeit des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF verwendet wird, und die zweiten Ableitungen Δ^2FAF_{SM} des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF für die vorbestimmte Zeitdauer summiert werden, so daß ihr Summenwert $\Sigma|\Delta^2FAF_{SM}|$ als die Änderungsgeschwindigkeit des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF verwendet wird. Weiterhin wird das Verhältnis zwischen dem Summenwert der Zustandsvariablenmenge $X(k)$ der zweiten Ableitung von λ und dem Summenwert der zweiten Ableitung von FAF als der Fehlerdiagnoseparameter verwendet, und dieser Parameter wird mit dem vorbestimmten Fehlerentscheidungswert α verglichen, so daß der Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 aus dem Vergleichsergebnis diagnostiziert wird. In diesem Fall ist die Summierung der zweiten Ableitungen von λ und von FAF für die vorbestimmte Zeitdauer ein Verfahren zur Klärung des Unterschieds zwischen dem Einzelverhalten, während damit zusammenhängende Erscheinungen, wie z. B. der charakteristische Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 und der Fehler des Ansprechvermögens sowie der Sensorfehlers (z. B. der charakteristische Fehler oder der Fehler des Ansprechvermögens), leicht diagnostizierbar.
- (c) In der vorliegenden Ausführungsform wird weiterhin diagnostiziert, daß der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 normal ist, wenn die folgende Beziehung erfüllt wird, wenn das Verhältnis zwischen dem Summenwert $\Sigma|\Delta^2\lambda_{SM}|$ der zweiten Ableitung von λ und dem Summenwert $\Sigma|\Delta^2FAF_{SM}|$ der zweiten Ableitung von FAF mit dem vorbestimmten Fehlerentscheidungswert α verglichen wird, wie die Ungleichung (21) zeigt:

$$\Sigma|\Delta^2FAF_{SM}|/\Sigma|\Delta^2\lambda_{SM}| < \alpha \quad (21)$$

In anderen Worten, beim Abfall des Ansprechvermögens des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 wird die Änderungsgeschwindigkeit des erfaßten λ erheblich vermindert, doch die Änderungsgeschwindigkeit des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF wird weniger erniedrigt, wie vorstehend beschrieben worden ist. Gemäß der Diagnose des vorliegenden Aufbaus ist der Fehler, das Vorliegen der Verminderung des Sensoransprechvermögens, sachgemäß diagnostizierbar.

(d) Außerdem werden die Änderungsgeschwindigkeit des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ und die Änderungsgeschwindigkeit des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF der Filteroperation als eine Glättungsoperation unterzogen. Wird diese Diagnose auf eine Vier-Zylinder-Wärmekeftmaschine mit innerer Verbrennung angewendet, kann die Streuung der einzelnen Elemente dieser Zylinder ausgeschlossen werden, um die Fehlerdiagnosegenauigkeit weiter zu erhöhen.

(e) In der vorliegenden Ausführungsform wird der den fortbestehenden Normalzustand entscheidende Zähler CDG4 verwendet, um die Fehlerentscheidung durch die Zähloperation des Zählers CDG4 zurückzusetzen, selbst nachdem die Fehlerentscheidung erfolgt ist. Demzufolge kann die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelung in geeigneter Weise wieder aufgenommen werden, wenn der Sensorfehler zeitweise auftritt, so daß der Fehlerzustand des Sensors vermieden wird oder wenn der Fehler einmal fälschlich entschieden worden ist.

In einer Abwandlung der vorstehend beschriebenen Ausführungsform wird der Fehlerentscheidungswert α gemäß dem Laufzustand der Wärmekeftmaschine veränderlich eingestellt. In diesem Fall werden die in Fig. 12 gezeigten Operationen zwischen den vorstehend erwähnten Operationen der Schritte 203 und 204 in Fig. 6 eingefügt.

Wie in Fig. 12 gezeigt, wird im Schritt 250 ein Summenwert ΣPM des Ansaugluftdrucks PM gelesen. Dieser Summenwert ΣPM ist ein Parameter, welcher die Änderungsgeschwindigkeit des Ansaugluftdrucks für eine vorbestimmte Zeitdauer anzeigt. Im Schritt 251 wird der Fehlerentscheidungswert α auf der Grundlage des Summenwerts ΣPM des Ansaugluftdrucks PM veränderlich eingestellt. Hier wird der Fehlerentscheidungswert α z. B. unter Verwendung einer in Fig. 13 gezeigten Beziehung bestimmt. In Fig. 13 ist die Beziehung so eingestellt, daß der Fehlerentscheidungswert α für größere Werte des Summenwerts ΣPM des Ansaugluftdrucks größer ist.

Selbst wenn sich die Laufbedingungen der Wärmekeftmaschine verändern, ist gemäß diesem Aufbau die zugehörige Fehlerdiagnose nacheinander ausführbar, um die Sensor-Fehlerdiagnosegenauigkeit weiter zu erhöhen. Die in Fig. 13 gezeigte Beziehung ist ebenso erreichbar, selbst für eine Abszisse der Änderungsgeschwindigkeit der Motordrehzahl N_e oder der Änderungsgeschwindigkeit einer Drosselklappenöffnung TH. Somit ist der Parameter zur Einstellung der Variablen α auf diese Änderungsgeschwindigkeiten abwandelbar.

Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachstehend mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. In den folgenden Ausbildungen der einzelnen Ausführungsformen wird die Beschreibung der Abschnitte ausgelassen, welche mit denen der vorstehend erläuterten ersten Ausführungsform übereinstimmen. An dieser Stelle werden die Unterschiede gegenüber der ersten Ausführungsform herausgestellt.

(Zweite Ausführungsform)

Fig. 14 zeigt einen Ablaufplan einer Fehlerdiagnoseroutine gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungs-

form der vorliegenden Erfindung. Die in Fig. 14 gezeigte Routine ersetzt den in Fig. 6 gezeigten Ablaufplan in der ersten Ausführungsform und wird durch die CPU 42 für eine vorbestimmte Zeitdauer (oder im Gleichlauf mit den Einspritzungen des Kraftstoffs) ausgeführt, wie vorstehend beschrieben ist.

Nur die Teile der in Fig. 14 gezeigten Fehlererfassungsroutine werden beschrieben, welche sich von jenen in Fig. 6 gezeigten unterscheiden. Im Schritt 300 in Fig. 6 wird der Summenwert $\Sigma|\Delta^2\lambda SM|$ der zweiten Ableitung $\Delta^2\lambda SM$ des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ als die Änderungsgeschwindigkeit des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ berechnet, und der Summenwert $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ der zweiten Ableitung Δ^2FAFSM des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses-Korrekturkoeffizienten FAF wird als die Änderungsgeschwindigkeit des Werts FAF berechnet. Im Schritt 204 der Fig. 6 wird die Fehlerdiagnose des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses ausgeführt, abhängig davon, ob die Ungleichung (22) erfüllt ist oder nicht:

$$\Sigma|\Delta^2FAFSM|/\Sigma|\Delta^2\lambda SM| < \alpha$$

In der in Fig. 14 gezeigten Routine wird andererseits im Schritt 410 der Summenwert $\Sigma|\Delta\lambda SM|$ einer Ableitung $\Delta\lambda SM (= \Delta\lambda SM_i - \Delta\lambda SM_{i-1})$ als die Änderungsgeschwindigkeit des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ berechnet, und der Summenwert $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ der zweiten Ableitung Δ^2FAFSM wird als die Änderungsgeschwindigkeit des Werts FAF berechnet. In anderen Worten, die Änderungsgeschwindigkeit des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ wird von $\Sigma|\Delta^2SM|$ auf $\Sigma|\Delta\lambda SM|$ verändert.

In diesem Fall nimmt der in der vorliegenden Routine zu verwendende Summenwert $\Sigma|\Delta\lambda SM|$ den Wert an, welcher für die Zeitdauer, bis der Summierzeitähler CDG1 den vorbestimmten Wert KX1 ($\Sigma|\Delta\lambda SM| = \Sigma|\Delta\lambda SM| + \Delta\lambda SM$) erreicht, summiert wird.

Im Schritt 420 wird weiterhin der Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 unter Verwendung eines vorbestimmten Fehlerentscheidungswerts $\beta 1$ diagnostiziert, abhängig davon, ob die Ungleichung (22) erfüllt ist oder nicht:

$$\Sigma|\Delta^2FAFSM|/\Sigma|\Delta\lambda SM| < \beta 1 \quad (22)$$

Im Schritt 430 wird nach der Fehlerdiagnose der Summenwert $\Sigma|\Delta\lambda SM|$ auf "0" zurückgesetzt. Die Operationen, welche durch dieselben Schrittzahlen wie jene in Fig. 6 bezeichnet sind, und die Operationen im Schritt 211 und nach dem Schritt 211 sind mit denen in Fig. 6 und Fig. 7 gezeigten übereinstimmend und deren Beschreibung wird ausgelassen.

Auch in der vorliegenden Ausführungsform wird die Aufgabe der vorliegenden Erfindung wie in der vorstehend beschriebenen ersten Ausführungsform erreicht. Wie mit Bezug auf Fig. 12 und Fig. 13 erläutert worden ist, kann die Fehlerdiagnosegenauigkeit ebenfalls durch Einstellen des Fehlerentscheidungswerts $\beta 1$ erhöht werden, welcher durch den ΣPM -Wert veränderbar ist.

(Dritte Ausführungsform)

Fig. 15 zeigt einen Ablaufplan einer Fehlerdiagnoseroutine gemäß einer dritten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Diese in Fig. 15 gezeigte Routine ersetzt den Ablaufplan in Fig. 6 in der ersten Ausführungsform und kann durch die CPU 42 für eine vorbestimmte Zeitdauer (im Gleichlauf mit dem Einspritzen des Kraftstoffs) ausgeführt werden.

Nur die Punkte in Fig. 15, welches sich von jenen in Fig. 6 gezeigten unterscheiden, werden nachstehend beschrieben. In der in Fig. 15 gezeigten Routine wird im Schritt 450 der Summenwert $\Sigma|\Delta^2\lambda SM|$ einer zweiten Ableitung $\Delta^2\lambda SM$ als die Änderungsgeschwindigkeit des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ berechnet, und der Summenwert $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ der Ableitung $\Delta FAFSM (= FAFSM_i - FAFSM_{i-1})$ wird als die Änderungsgeschwindigkeit des Werts FAF berechnet. In anderen Worten, die Änderungsgeschwindigkeit des Werts FAF wird von $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ zu $\Sigma|\Delta FAFSM|$ verändert. In diesem Fall nimmt der in der vorliegenden Routine zu verwendende Summenwert $\Sigma|\Delta FAFSM|$ den Wert an, welcher während der Zeitdauer summiert wird, bis der Summierzeitähler CDG1 den vorbestimmten Wert KX1 ($\Sigma|\Delta FAFSM| = \Sigma|\Delta FAFSM| + \Delta FAFSM$) erreicht.

Im Schritt 460 wird weiterhin der Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 unter Verwendung eines vorbestimmten Fehlerentscheidungswerts $\beta 2$ diagnostiziert, abhängig davon, ob die Ungleichung (23) erfüllt ist oder nicht:

$$\Sigma|\Delta FAFSM|/\Sigma|\Delta^2\lambda SM| < \beta 2 \quad (23)$$

Im Schritt 470 wird nach der Fehlerdiagnose der Summenwert $\Sigma|\Delta FAFSM|$ auf "0" zurückgesetzt.

Auch in der vorliegenden Ausführungsform wird die Aufgabe der vorliegenden Erfindung wie in der vorhergehend beschriebenen ersten Ausführungsform erreicht. Wie mit Bezug auf Fig. 12 und Fig. 13 beschrieben worden ist, kann die Fehlerdiagnosegenauigkeit ebenfalls durch veränderbares Einstellen des Fehlerentscheidungswerts $\beta 2$ gemäß dem ΣPM -Wert erhöht werden.

(Vierte Ausführungsform)

Eine vierte bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nachstehend mit Bezug auf Fig. 16—18 beschrieben. In der vorliegenden Ausführungsform wird die Amplitude $\Delta\lambda LR$ der Änderungsgeschwindigkeit $\Delta\lambda$ des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ bestimmt, und die Amplitude $\Delta FAF LR$ der Änderungsgeschwindigkeit ΔFAF des Werts FAF wird bestimmt, so daß die Änderungsgeschwindigkeiten aus den Summen-

werten $\Sigma\Delta\lambda LR$ und $\Sigma\Delta FAF$ der einzelnen Amplitudenwerte für vorbestimmte λ bestimmt werden. Die Fehlerdiagnose des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 wird auf der Grundlage dieser Werte $\Sigma\Delta\lambda LR$ und $\Sigma\Delta FAF LR$ ausgeführt.

Kurz gesagt, die Summenwerte $\Sigma|\Delta^2\lambda SM|$ und $\Sigma|\Delta^2 FAF SM|$, wie sie in den vorstehend beschriebenen einzelnen Ausführungsformen verwendet sind, und die Summenwerte $\Sigma\Delta\lambda LR$ und $\Sigma\Delta FAF LR$, wie sie in der vorliegenden Ausführungsform verwendet werden, sind im wesentlichen gleich (d. h. "die Summe der zweiten Ableitungen ist gleich der Summe der Amplituden"), wenn die Summierzeiten (Summierzeitdauer) der einzelnen Werte länger als die halbe Wellenlänge der Schwankungsdauer des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ oder des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF sind. In der vorliegenden Ausführungsform werden daher die Summenwerte $\Sigma\Delta\lambda LR$ und $\Sigma\Delta FAF LR$ als die Änderungsgeschwindigkeiten verwendet, um die Fehlerdiagnose auszuführen.

Fig. 16 zeigt einen Ablaufplan einer Fehlerdiagnoseroutine der vorliegenden Ausführungsform. Diese Routine in Fig. 16 ersetzt den in Fig. 6 gezeigten Ablaufplan der ersten Ausführungsform und wird durch die CPU 42 für eine vorbestimmte Zeitdauer (oder im Gleichlauf mit dem Einspritzen des Kraftstoffs) ausgeführt.

Wenn die in Fig. 16 gezeigte Routine eingeleitet ist, bestimmt die CPU 42 im Schritt 501 den aktiven Zustand des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 und bestimmt im Schritt 502, ob ein Fehler anders als jener des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 erfaßt wird oder nicht. Wenn beide Antworten der Schritte 501 und 502 JA sind, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 600, um die Summenwerte $\Sigma\Delta\lambda LR$ und $\Sigma\Delta FAF LR$ durch die nachstehend beschriebenen Unterprogramme, welche in Fig. 17 und Fig. 18 gezeigt sind, zu berechnen.

Dann entscheidet die CPU 42 im Schritt 503, ob beide der Summierzeitähler CDG0 und CDG1 den vorbestimmten Wert KX1 überschreiten (z. B. einen numerischen Wert entsprechend der Summierzeit von 30 Sekunden in der vorliegenden Ausführungsform). Wenn $CDG0 < KX1$ oder $CDG1 < KX1$ ist, beendet die CPU 42 die vorliegende Routine wie sie ist. Wenn $CDG0 \geq KX1$ und $CDG1 \geq KX1$ sind, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 504. Im Schritt 504 verwendet die CPU 42 das Verhältnis zwischen den Summenwerten $\Sigma\Delta\lambda LR$ und $\Sigma\Delta FAF LR$ als den Fehlerdiagnoseparameter, um den Parameter mit einem vorbestimmten Fehlerentscheidungswert γ zu vergleichen. In anderen Worten, es wird entschieden, ob die Ungleichung (24) erfüllt ist oder nicht:

$$\Sigma\Delta FAF LR / \Sigma\Delta\lambda LR < \quad (24)$$

In diesem Fall bedeutet das Erfüllen dieser Ungleichung, daß die Änderungsgeschwindigkeiten des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ und des Werts FAF in einem zufriedenstellenden Zustand miteinander in einer Wechselbeziehung stehen und der Tatsache entsprechen, daß das Ansprechvermögen des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 erhalten ist. In anderen Worten, eine in Fig. 10 gezeigte Beziehung gilt zwischen dem Fehlerentscheidungsparameter ($\Sigma\Delta FAF LR / \Sigma\Delta\lambda LR$) und dem Fehlerentscheidungswert γ (d. h., die Ordinate und die Abszisse in Fig. 10 sind durch den Fehlerentscheidungsparameter und den Fehlerentscheidungswert 7 ersetzbar).

Es folgt, daß der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 dann als normal angesehen werden kann, wenn, wie in der Ungleichung (25) gezeigt,

$$\Sigma\Delta FAF LR / \Sigma\Delta\lambda LR < \gamma \quad (25)$$

ist, und daß der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 als fehlerhaft angesehen werden kann, wenn, wie in der Ungleichung (26) gezeigt,

$$\Sigma\Delta FAF LR / \Sigma\Delta\lambda LR > \gamma \quad (26)$$

ist.

Wenn die Antwort im Schritt 504 JA ist, hält die CPU 42 im Schritt 503 den Fehlerentscheidungszähler CDG3 an und inkrementiert im Schritt 506 den den fortbestehenden Normalzustand entscheidenden Zähler CDG4 um "1". Ist andererseits die Antwort im Schritt 504 NEIN, inkrementiert die CPU 42 im Schritt 507 den Fehlerentscheidungszähler CDG3 um "1" und setzt im Schritt 508 den den fortbestehenden Normalzustand entscheidenden Zähler CDG4 auf "0" zurück.

Dann setzt die CPU 42 im Schritt 509 den Summenwert $\Sigma\Delta\lambda LR$ auf "0" zurück und setzt im Schritt 510 den Summenwert $\Sigma\Delta FAF LR$ auf "0" zurück. Die CPU 42 setzt im Schritt 511 beide Summierzeitähler CDG0 und CDG1 auf "0" zurück. Die Routine im Schritt 511 und nach dem Schritt 511 ist mit der in Fig. 7 gezeigten Routine übereinstimmend, und die weitere Beschreibung wird daher ausgelassen.

Der Prozeß der Berechnung der Summenwerte $\Sigma\Delta\lambda LR$ und $\Sigma\Delta FAF LR$ oder der ausführlich gezeigte Prozeß des Schritts 600 in Fig. 16 wird nachstehend mit Bezug auf den in Fig. 17 und Fig. 18 gezeigten Ablaufplan beschrieben.

Wenn die in Fig. 17 gezeigte Routine eingeleitet ist, berechnet die CPU 42 in den Schritten 601 bis 603 eine Ableitung $\Delta\lambda SM_i$ unter Verwendung des durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 erfaßten Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ und berechnet in den Schritten 604 bis 606 unter Verwendung des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF eine Ableitung $\Delta FAF SM_i$. In spezifischer Weise liest die CPU 42 in dem Schritt 601 das A/D-gewandelte Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ und filtert in dem Schritt 602 das gelesene Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ , um den geglätteten Wert λSM_i zu berechnen. Im Schritt 603 berechnet die CPU 42 aus dem vorliegenden Wert und dem vorhergehenden Wert des vorhergehend berechneten geglätteten Werts $\lambda SM(\Delta\lambda SM_i = \lambda SM_i - \lambda SM_{i-1})$ die Ableitung $\Delta\lambda SM_i$.

Andererseits liest die CPU 42 im Schritt 604 den Wert FAF und filtert im Schritt 605 den gelesenen Wert FAF,

um den geglätteten Wert $\Delta\lambda\text{FSM}_i$ zu berechnen. Im Schritt 606 berechnet die CPU 42 aus dem vorliegenden Wert und dem vorhergehenden Wert des berechneten, geglätteten Werts $\Delta\lambda\text{FSM}$ die Ableitung $\Delta\lambda\text{FAFSM}_i$ ($\Delta\lambda\text{FAFSM}_i = \text{FAFSM}_i - \text{FAFSM}_{i-1}$).

Dann entscheidet die CPU 42 in den Schritten 607 bis 609, ob die Bedingungen (d. h. die Summierungsbedingungen) zum Summieren der Ableitungen $\Delta\lambda\text{SM}_i$ und $\Delta\lambda\text{FAFSM}_i$ erfüllt sind oder nicht (wobei diese Operationen mit jenen der Schritte 308 bis 310 in Fig. 8 übereinstimmen). In spezifischer Weise wird im Schritt 607 auf der Grundlage der Kühlwassertemperatur Thw entschieden, ob das Aufwärmen der Wärmekraftmaschine abgeschlossen ist oder nicht, und im Schritt 608 wird auf der Grundlage der Motordrehzahl N_e , der Fahrzeuggeschwindigkeit SPD und des Ansaugluftdrucks PM entschieden, ob die Laufbedingungen die vorbestimmten Bedingungen erfüllen oder nicht. Im Schritt 609 wird auf der Grundlage der Änderungsgeschwindigkeit des Ansaugluftdrucks PM entschieden, ob das Fahrzeug plötzlich beschleunigt ist oder nicht.

Wenn die Summierungsbedingungen der Schritte 607 bis 609 nicht erfüllt sind, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 610 und hält beide Summenwerte $\Sigma\Delta\lambda\text{LR}$ und $\Sigma\Delta\lambda\text{FAFLR}$ fest. Die CPU 42 hält im Schritt 611 die Summierzeitähler CDG0 und CDG1 an und beendet die vorliegende Routine.

Sind andererseits alle Summierungsbedingungen der Schritte 607 bis 609 erfüllt, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 612 in Fig. 18. Im Schritt 612 entscheidet die CPU 42, ob die Differenz zwischen dem vorliegenden Wert und dem vorhergehenden Wert der Differenz $\Delta\lambda\text{SM}$ "0" übersteigt, wie in der Ungleichung (27) gezeigt ist:

$$\Delta\lambda\text{SM}_i - \Delta\lambda\text{SM}_{i-1} > 0 \quad (27)$$

In beiden Schritten 613 und 614 entscheidet die CPU 42, ob die Differenz zwischen dem vorhergehenden Wert und dem vorvorhergehenden Wert der Differenz $\Delta\lambda\text{SM}$ "0" übersteigt, wie in der Ungleichung (28) gezeigt ist:

$$\Delta\lambda\text{SM}_{i-1} - \Delta\lambda\text{SM}_{i-2} > 0 \quad (28)$$

Wenn die Antwort im Schritt 612 JA ist und die Antwort im Schritt 613 NEIN ist, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 615, um den vorhergehenden Wert $\Delta\lambda\text{SM}_{i-1}$ auf " $\Delta\lambda\text{R}$ " einzustellen, unter der Annahme, daß der vorhergehende Wert ($\Delta\lambda\text{SM}_{i-1}$) des Werts $\Delta\lambda\text{SM}$ einem "Fett"-Spitzenwert $\Delta\lambda\text{R}$ entspricht. Ist andererseits die Antwort im Schritt 612 NEIN und die Antwort im Schritt 614 JA, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 616 um die vorhergehende Differenz $\Delta\lambda\text{SM}_{i-1}$ auf " $\Delta\lambda\text{L}$ " einzustellen, unter der Annahme, daß der vorhergehende Wert ($\Delta\lambda\text{SM}_{i-1}$) des Werts $\Delta\lambda\text{SM}$ dem "Mager"-Spitzenwert $\Delta\lambda\text{L}$ entspricht.

In anderen Fällen (d. h., wenn die Antwort im Schritt 613 JA ist oder wenn die Antwort im Schritt 614 NEIN ist) geht die CPU 42 weiter zum Schritt 617. Die CPU 42 hält im Schritt 617 den Summenwert $\Sigma\Delta\lambda\text{LR}$ fest und hält im Schritt 618 den Summierzeitähler CDG0 an.

Nach der Operation im Schritt 615 oder 616 berechnet die CPU 42 im Schritt 619 die $\Delta\lambda$ -Amplitude $\Delta\lambda\text{LR}$ durch Subtrahieren des "Fett"-Spitzenwerts $\Delta\lambda\text{R}$ vom "Mager"-Spitzenwert $\Delta\lambda\text{L}$ ($\Delta\lambda\text{LR} = \Delta\lambda\text{L} - \Delta\lambda\text{R}$). Dann aktualisiert die CPU 42 im Schritt 620 den Summenwert $\Sigma\Delta\lambda\text{LR}$ durch Addieren des Summenwerts $\Sigma\Delta\lambda\text{LR}$, welcher bis dann summiert ist, und der berechneten $\Delta\lambda$ -Amplitude $\Delta\lambda\text{LR}$ ($\Sigma\Delta\lambda\text{LR} = \Sigma\Delta\lambda\text{LR} + \Delta\lambda\text{LR}$). Die CPU 42 inkrementiert im Schritt 621 den Summierzeitähler CDG0 um "1" und geht dann weiter zum Schritt 622.

Im Schritt 622 entscheidet die CPU 42, ob die Differenz zwischen dem vorliegenden Wert und dem vorhergehenden Wert der Ableitung $\Delta\lambda\text{FAFSM}$ "0" übersteigt oder nicht, wie in der Ungleichung (29) gezeigt ist:

$$\Delta\lambda\text{FAFSM}_i - \Delta\lambda\text{FAFSM}_{i-1} > 0 \quad (29)$$

In beiden Schritten 623 und 624 entscheidet die CPU 42, ob die Differenz zwischen dem vorhergehenden Wert und dem vorvorhergehenden Wert der Ableitung $\Delta\lambda\text{FAFSM}$ "0" übersteigt, wie in der Ungleichung (30) gezeigt ist:

$$\Delta\lambda\text{FAFSM}_{i-1} - \Delta\lambda\text{FAFSM}_{i-2} > 0 \quad (30)$$

Wenn die Antwort im Schritt 622 JA ist und die Antwort im Schritt 623 NEIN ist, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 625, um die vorhergehende Ableitung $\Delta\lambda\text{FAFSM}_{i-1}$ auf " $\Delta\lambda\text{AFR}$ " einzustellen, unter der Annahme, daß der vorhergehende Wert ($\Delta\lambda\text{FAFSM}_{i-1}$) des $\Delta\lambda\text{FAFSM}$ -Werts dem "Fett"-Spitzenwert $\Delta\lambda\text{AFR}$ entspricht. Ist andererseits die Antwort im Schritt 622 NEIN und die Antwort im Schritt 624 JA, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 626, um die vorhergehende Ableitung $\Delta\lambda\text{FAFSM}_{i-1}$ auf " $\Delta\lambda\text{AFL}$ " einzustellen, unter der Annahme, daß der vorhergehende Wert ($\Delta\lambda\text{FAFSM}_{i-1}$) des $\Delta\lambda\text{FAFSM}$ -Werts dem "Mager"-Spitzenwert $\Delta\lambda\text{AFL}$ entspricht.

In anderen Fällen (d. h., wenn die Antwort im Schritt 623 JA ist oder wenn die Antwort im Schritt 624 NEIN ist) geht die CPU 42 weiter zum Schritt 627. Die CPU 42 hält im Schritt 627 den Summenwert $\Sigma\Delta\lambda\text{FAFLR}$ fest und hält im Schritt 628 den Summierzeitähler CDG1 an.

Nach der Operation des Schritts 625 oder 626 berechnet die CPU 42 im Schritt 629 die $\Delta\lambda\text{AF}$ -Amplitude $\Delta\lambda\text{AFLR}$ durch Subtrahieren des "Fett"-Spitzenwerts $\Delta\lambda\text{AFR}$ vom "Mager"-Spitzenwert $\Delta\lambda\text{AFL}$ ($\Delta\lambda\text{AFLR} = \Delta\lambda\text{AFL} - \Delta\lambda\text{AFR}$). Dann aktualisiert die CPU 42 den Summenwert $\Sigma\Delta\lambda\text{AFLR}$ durch Addieren der berechneten $\Delta\lambda\text{AF}$ -Amplitude $\Delta\lambda\text{AFLR}$ zu dem Summenwert $\Sigma\Delta\lambda\text{AFLR}$, bis dann ($\Sigma\Delta\lambda\text{AFLR} = \Sigma\Delta\lambda\text{AFLR} + \Delta\lambda\text{AFLR}$) ist. Die CPU 42 inkrementiert im Schritt 631 den Summierzeitähler CDG1 um "1" und beendet dann die vorliegende Routine.

Auch in der vorliegenden Ausführungsform wird die Aufgabe der Erfindung wie in den vorhergehend beschriebenen einzelnen Ausführungsformen erfüllt. Besonders in der vorliegenden Ausführungsform wird der Summenwert $\Sigma\Delta\lambda\text{LR}$ der $\Delta\lambda$ -Amplitude als die Änderungsgeschwindigkeit des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ

verwendet, und der Summenwert $\Sigma\Delta FAF$ der ΔFAF -Amplitude wird als die Änderungsgeschwindigkeit des FAF-Werts verwendet. Das Verhältnis zwischen den Summenwerten $\Sigma\Delta LR$ und $\Sigma\Delta FAF$ wird als der Fehlerdiagnoseparameter verwendet, und dieser Parameter wird mit dem Fehlerentscheidungswert γ verglichen, so daß der Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 aus dem Vergleichsergebnis diagnostiziert wird. In diesem Fall ist das Summieren der $\Delta\lambda$ -Amplitude und von ΔFAF für die vorbestimmte Zeitdauer ein Verfahren zum Aufklären des Unterschieds zwischen dem Einzelverhalten, während in Wechselbeziehung stehende Erscheinungen, wie z. B. der charakteristische Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 und des Fehlers des Ansprechvermögens, vorliegen, und der Sensorfehler ist durch Bestimmen des Verhältnisses ($= \Sigma\Delta FAF / \Sigma\Delta LR$) dieser Summenwerte leicht diagnostizierbar.

Auch in der vorliegenden Ausführungsform kann die Fehlerdiagnosegenauigkeit durch veränderbares Einstellen des Fehlerentscheidungswerts γ gemäß dem ΣPM -Wert erhöht werden, wie mit Bezug auf Fig. 12 und Fig. 13 beschrieben worden ist.

(Fünfte Ausführungsform)

In jeder der vorhergehenden ersten bis vierten Ausführungsform wird bei der Fehlerdiagnose der Sensorfehler in Abhängigkeit davon diagnostiziert, ob der Fehlerdiagnoseparameter, wie aus dem Verhältnis der Änderungsgeschwindigkeiten des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ und des FAF-Werts bestimmt, geringer als der Fehlerentscheidungswert (α , β_1 , β_2 oder γ) ist oder nicht. In der vorliegenden Ausführungsform wird andererseits der Sensorfehler abhängig davon diagnostiziert, ob der Fehlerdiagnoseparameter, wie er aus dem Verhältnis der Änderungsgeschwindigkeiten des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ und dem FAF-Wert bestimmt ist, innerhalb eines vorbestimmten Bereichs (δ_1 bis δ_2) ist oder nicht. In der vorliegenden Ausführungsform wird weiterhin das Verhältnis zwischen den Summenwerten $\Sigma|\Delta^2\lambda SM|$ und $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ als der Fehlerdiagnoseparameter verwendet, und die für die Fehlerdiagnose zu verwendenden Fehlerentscheidungswerte δ_1 und δ_2 werden veränderbar eingestellt. In diesem Fall werden die in Fig. 19 gezeigten Operationen nach dem Schritt 203 in Fig. 6 hinzugefügt, und die Operation im Schritt 204 wird abgewandelt.

In Fig. 19 wird der Summenwert ΣPM des Ansaugluftdrucks gelesen. Dieser Summenwert ΣPM ist ein Parameter, welcher die Änderungsgeschwindigkeit des Ansaugluftdrucks für eine vorbestimmte Zeitdauer anzeigt. Im Schritt 271 werden die Fehlerentscheidungswerte δ_1 und δ_2 auf der Grundlage des Summenwerts ΣPM des Ansaugluftdrucks PM veränderbar eingestellt.

Dann können die Werte δ_1 und δ_2 z. B. aus den in Fig. 20 gezeigten Beziehungen bestimmt werden. In Fig. 20 sind die Beziehungen so eingestellt, daß die Werte δ_1 und δ_2 für größere Werte von ΣPM größer werden.

Dann wird im Schritt 272 die Fehlerdiagnose ausgeführt, abhängig davon, ob die Ungleichung (31) erfüllt ist oder nicht:

$$\delta_1 < (\Sigma|\Delta^2FAFSM|/\Sigma|\Delta^2\lambda SM|) < \delta_2 \quad (31)$$

Wenn die Antwort im Schritt 272 JA ist, geht die Routine weiter zum Schritt 205 in Fig. 6. In den in Fig. 6 gezeigten Schritten 205 und 206 wird der Fehlerentscheidungszähler CDG3 angehalten, und der den fortbestehenden Normalzustand entscheidende Zähler CDG4 wird um "1" inkrementiert. Ist andererseits die Antwort im Schritt 207 NEIN, geht die Routine weiter zum Schritt 207 in Fig. 6. In den Schritten 207 und 208 der Fig. 6 wird der Fehlerentscheidungszähler CDG3 um "1" inkrementiert, und der den fortbestehenden Normalzustand entscheidende Zähler CDG4 wird auf "0" zurückgesetzt.

Gemäß dem Aufbau der vorliegenden Ausführungsform kann die Aufgabe der Erfindung wie in den vorstehend beschriebenen einzelnen Ausführungsformen natürlich erfüllt werden, und die folgenden Wirkungen sind außerdem erreichbar. Wenn der Aufbau den Sensorfehler auf Grund der Tatsache diagnostiziert, daß der Fehlerdiagnoseparameter innerhalb des vorbestimmten Normalbereichs (δ_1 bis δ_2) ist, kann der charakteristische Fehler sachgemäß diagnostiziert werden, selbst wenn er in dem in Fig. 23A gezeigten Modus auftritt.

Die in Fig. 20 gezeigten Verhältnisse können ebenso erreicht werden, selbst wenn die Abszisse in Fig. 20 die Änderungsgeschwindigkeit der Motordrehzahl N oder die Änderungsgeschwindigkeit der Drosselklappenöffnung TH zeigt, so daß der Parameter zum Einstellen der Werte δ_1 und δ_2 durch diese Änderungsgeschwindigkeiten ersetzbar ist.

(Sechste Ausführungsform)

Eine sechste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Diagnoseprozesses berechnet den Summenwert (den " λ -Summenwert $T\lambda$ ") zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ , wie es innerhalb einer vorbestimmten Zeitdauer durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 erfaßt ist, und dem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} , und einen Summenwert (den "FAF-Summenwert $TFAF$ ") der Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF innerhalb einer vorbestimmten Zeitdauer und dem Durchschnittswert $FAFAV$ des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF . Wenn sich das Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ relativ zu dem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} verändert und wenn sich der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient FAF relativ zu dessen Durchschnittswert $FAFAV$ ändert, entsprechen der λ -Summenwert $T\lambda$ und der FAF-Summenwert $TFAF$ den Flächen der schraffierten Abschnitte in Fig. 28A und Fig. 28B. In der vorliegenden Ausführungsform entspricht der λ -Summenwert $T\lambda$ einem ersten Fehlerentscheidungselement, und der FAF-Summenwert $TFAF$ entspricht einem zweiten Fehlerentscheidungselement.

Der Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystems wird abhängig davon erfaßt, ob diese Werte $T\lambda$ und $TFAF$ innerhalb des Normalzustand-Entscheidungsbereichs sind oder innerhalb des Fehlerzustand-Ent-

scheidungsbereichs. Wenn der Wert $T\lambda$ innerhalb eines Bereichs zwischen den Schwellenwerten A und B ist und der Wert TFAF innerhalb eines Bereichs zwischen den Schwellenwerten C und D ist, wie in Fig. 29 gezeigt (in einem Zwischenbereich ausschließlich der schraffierten Abschnitte), wird diagnostiziert, daß das Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem im Normalzustand ist.

Wenn andererseits die Werte $T\lambda$ und TFAF in die schraffierten Bereiche fallen, wird diagnostiziert, daß das Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem im Normalzustand ist. In diesem Fall ist der Bereich von $T\lambda \leq A$ und $TFAF \leq C$ im wesentlichen schwer als ein fehlerhafter zu entscheiden. In der vorliegenden Ausführungsform ist dieser Bereich jedoch für die Fehlerdiagnose nicht zuverlässig und kann möglicherweise bei der Fehlerdiagnose irreführend sein, so daß diese Fehlerentscheidung unterbunden wird (da sie zu dem Fehlerentscheidungsbereich gehört).

Fig. 24 zeigt einen Ablaufplan einer Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem-Fehlerentscheidungsroutine in der vorliegenden Ausführungsform. Diese Routine wird von der CPU 42 z. B. für eine Zeitdauer von 4 ms ausgeführt. In der vorliegenden Ausführungsform entspricht die Routine in Fig. 24 der Fehlerdiagnoseeinrichtung.

Wenn die in Fig. 24 gezeigte Routine eingeleitet ist, entscheidet die CPU 42 im Schritt 710, ob der gegenwärtige Laufzustand der Wärmekraftmaschine in dem Zustand ist, in welchem deren Fehler entschieden werden kann. Im Schritt 710 wird in mehr spezifischer Weise entschieden, ob die folgenden Bedingungen erfüllt sind oder nicht:

- daß der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 in einem aktiven Zustand ist (in welchem die Elementtemperatur des Sensorkörpers 32 nicht geringer als 650°C ist oder der Elementwiderstand des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 nicht geringer als $90\ \Omega$ ist)
- daß der Ansaugluftdruck nicht geringer als ein vorbestimmter Druck ist,
- daß die Drehzahl N_e der Wärmekraftmaschine nicht geringer als ein vorbestimmter Wert ist,
- daß die Drosselklappenöffnung TH nicht kleiner als ein vorbestimmter Wert ist,
- daß die Wärmekraftmaschine im Leerlauf ist und
- daß eine vorbestimmte Zeitdauer seit dem Beginn der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Rückführung vergangen ist.

Wenn die Antwort im Schritt 710 JA ist, um die Fehlerentscheidung zuzulassen, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 720, in welchem der λ -Summenwert $T\lambda$ berechnet wird. Hier wird der λ -Summenwert $T\lambda$ durch eine in Fig. 25 gezeigte Unterroutine berechnet, welche der Erstes-Element-Berechnungseinrichtung entspricht, wie nachstehend beschrieben ist. Die CPU 42 berechnet im Schritt 721 der Fig. 25 die Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ , wie es durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 erfaßt wird, und dem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} . Im nachfolgenden Schritt 722 wird der Absolutwert $|\lambda - \lambda_{TG}|$ der Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ und dem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} zu dem vorhergehenden Wert $T\lambda_{i-1}$ des λ -Summenwerts zum Berechnen des vorliegenden Werts $T\lambda_i$ des λ -Summenwerts (d. h., $T\lambda_i = T\lambda_{i-1} + |\lambda - \lambda_{TG}|$) hinzugefügt.

Im Schritt 730 der Fig. 24 berechnet die CPU 42 den FAF-Summenwert TFAF. Hier wird der FAF-Summenwert TFAF durch eine Unterroutine in Fig. 26 berechnet, welche einer nachstehend beschriebenen Zweites-Element-Berechnungseinrichtung entspricht. Die CPU 42 liest im Schritt 731 der Fig. 26 den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF, wie er gemäß dem vorstehend erwähnten Prozeß bestimmt ist, und im nachfolgenden Schritt 732 erfolgt das Einstellen des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF auf den vorliegenden Wert FAF_i des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten.

Die CPU 42 berechnet im Schritt 733 den (vorliegenden) Durchschnittswert FAF_{AVi} des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF unter Verwendung einer allgemein bekannten Rundungsoperation. In spezifischer Weise wird der Durchschnittswert FAF_{AVi} durch die Gleichung (32) berechnet:

$$FAF_{AVi} = \{FAF_{AVi-1} \cdot (n-1) + FAF_i\} / n \quad (32)$$

In Gleichung (32) ist z. B. $n = 64$.

Dann berechnet die CPU 42 im Schritt 734 die Differenz zwischen dem (vorliegenden) Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF_i und dessen (vorliegendem) Durchschnittswert FAF_{AVi} und addiert im nachfolgenden Schritt 735 den Absolutwert $|FAF_i - FAF_{AVi}|$ zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF_i und dessen Durchschnittswert FAF_{AVi} zum vorhergehenden Wert TFAF_{i-1} des FAF-Summenwerts, um den aktuellen Wert TFAF_i des FAF-Summenwerts zu berechnen (d. h., $TFAF_i = TFAF_{i-1} + |FAF_i - FAF_{AVi}|$).

Nach den Prozessen (zur Berechnung der Werte $T\lambda$ und TFAF) der Schritte 720 und 730 in Fig. 24 entscheidet die CPU 42 andererseits im Schritt 740, ob eine vorbestimmte Zeitdauer t (z. B. 1280 ms in der vorliegenden Ausführungsform) seit der vorhergehenden Fehlerentscheidungszeit vergangen ist oder nicht. Wenn diese Antwort NEIN ist, wird die vorliegende Routine beendet wie sie ist. In anderen Worten, für die Zeitdauer (von 1280 ms), während die Antwort im Schritt 740 NEIN ist, werden das Summieren der Differenz des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ und das Summieren der Differenz des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF wiederholt ausgeführt.

Ist andererseits im Schritt 740 die Antwort JA, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 750, in welchem sie die Fehlerentscheidung ausführt. Die Fehlerentscheidung wird gemäß der in Fig. 27 gezeigten Unterroutine ausgeführt.

Diese Fehlerentscheidung (der in Fig. 27 gezeigten Unterroutine) dient zum Entscheiden des Fehlers des

Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem unter Verwendung des berechneten λ -Summenwerts $T\lambda$ und des FAF-Summenwerts TFAF. Nach dieser Entscheidung setzt die CPU 42 im Schritt 750 den λ -Summenwert $T\lambda$ und den FAF-Summenwert TFAF auf "0" zurück und beendet die vorliegende Routine.

In Fig. 27 inkrementiert die CPU 42 im Schritt 751 einen Verarbeitungszähler CDG zum Anzeigen der Anzahl der Ausführungen der Fehlerentscheidung um "1" und entscheidet im nachfolgenden Schritt 752, ob der Verarbeitungszähler CDG "5" überschreitet oder nicht. Auf der frühen Verarbeitungsstufe ist die Antwort im Schritt 752 NEIN, und die CPU 42 geht weiter zum Schritt 753.

Die CPU 42 entscheidet im Schritt 753, ob der λ -Summenwert $T\lambda$ innerhalb des Normalzustandsbereichs ist, welcher durch die vorbestimmten Schwellenwerte A und B definiert wird. Diese Schwellenwerte A und B sind auf der Ordinate in Fig. 29 aufgetragen. Wenn $A < T\lambda < B$ ist, läßt die CPU 42 einen λ -Fehlerentscheidungszähler CAFDG wie er ist. Ist $T\lambda \leq A$ oder $T\lambda \geq B$ ist, inkrementiert die CPU 42 im Schritt 755 den λ -Fehlerentscheidungszähler CAFDG um "1".

Die CPU 42 entscheidet im Schritt 756, ob der λ -Fehlerentscheidungszähler CAFDG nicht geringer als "3" ist oder nicht. Die CPU 42 setzt im Schritt 757 ein λ -Fehlerentscheidungsflag XDGAUF auf "0" zurück, wenn CAFDG < 3 ist, aber setzt im Schritt 758 das λ -Fehlerentscheidungsflag XDGAUF auf "1", wenn CAFDG ≥ 3 ist.

Dann entscheidet die CPU 42 im Schritt 759, ob der FAF-Summenwert TFAF innerhalb des Normalzustandsbereichs ist, welcher durch die vorbestimmten Schwellenwerte C und D definiert ist. Diese Schwellenwerte C und D sind auf der Abszisse in Fig. 29 aufgetragen. Wenn $C < TFAF < D$ ist, läßt die CPU 42 im Schritt 760 einen FAF-Fehlerentscheidungszähler CFAFDG wie er ist. Wenn $TFAF \leq C$ oder $TFAF \geq D$ ist, inkrementiert die CPU 42 im Schritt 761 den FAF-Fehlerentscheidungszähler CFAFDG um "1".

Die CPU 42 entscheidet im Schritt 762, ob der FAF-Fehlerentscheidungszähler CFAFDG nicht geringer als "3" ist oder nicht. Wenn CFAFDG < 3 ist, setzt die CPU 42 im Schritt 763 ein FAF-Fehlerentscheidungsflag XDGFAP auf "0" zurück und beendet die vorliegende Routine. Ist andererseits CAFDG ≥ 3 , setzt die CPU 42 im Schritt 764 das FAF-Fehlerentscheidungsflag XDGFAP auf "1" und beendet die vorliegende Routine.

Wenn die Routine in Fig. 27 wiederholt ausgeführt wird, so daß die Antwort im Schritt 752 JA ist, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 765, um zu entscheiden, ob entweder das λ -Fehlerentscheidungsflag XDGAUF oder das FAF-Fehlerentscheidungsflag XDGFAP auf "1" gesetzt ist. Wenn beide Flags XDGAUF und XDGFAP auf "0" gesetzt sind, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 766, um ein endgültiges Fehlerentscheidungsflag XDG auf "0" zurückzusetzen. Ist mindestens eines der Flags XDGAUF oder XDGFAP auf "1" gesetzt, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 767, um das endgültige Fehlerentscheidungsflag XDG auf "1" zu setzen. Gemäß der Einstelloperation des endgültigen Fehlerentscheidungsflags XDG, obgleich nicht gezeigt, werden beide der Fehlerentscheidungsflags XDGAUF und XDGFAP auf "0" zurückgesetzt.

Hier bedeutet XDG = 0, daß der λ -Summenwert $T\lambda$ und der FAF-Summenwert TFAF innerhalb des Normalzustandsbereichs (mittlerer Bereich) in Fig. 29 liegen, und XDG = 1 bedeutet, daß sich der λ -Summenwert $T\lambda$ und der FAF-Summenwert TFAF innerhalb des Fehlerzustandsbereichs (schraffierter Bereichs) in Fig. 29 befinden.

Dann setzt die CPU 42 im Schritt 768 den Verarbeitungszähler CDG auf "0" zurück und setzt im nachfolgenden Schritt 769 den λ -Fehlerentscheidungszähler CAFDG auf "0" zurück. Die CPU 42 setzt im Schritt 770 den FAF-Fehlerentscheidungszähler CFAFDG auf "0" zurück und beendet die vorliegende Routine. Wenn das endgültige Fehlerentscheidungsflag XDG bestimmt ist, führt die CPU 42 die Diagnoseverarbeitung durch Einschalten des Warnlichts 49 oder das Anhalten der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Rückführung aus.

Die Fehlerentscheidungsverarbeitung, wie sie in der vorstehend erwähnten Weise ausgeführt ist, wird nachstehend mit Bezug auf die in Fig. 30A—30H gezeigten Kurvenbilder beschrieben. Hier bezeichnen t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , t_5 und t_6 Zeitpunkte, zu denen die in Fig. 27 gezeigte Fehlerentscheidungsroutine ausgeführt wird. In Fig. 30 wird der Verarbeitungszähler CDG alle 1280 ms inkrementiert und wird auf "0" zurückgesetzt, wenn CDG = 5 erreicht ist.

Während der Zeitdauer von t_1 bis t_2 und während der Zeitdauer von t_3 bis t_5 verändert sich das Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ wesentlich mit Bezug auf das Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} , so daß der λ -Summenwert $T\lambda$ vom zulässigen Bereich (A bis B) oder dem Normalzustandsbereich abweicht. Zu den Zeitpunkten t_2 , t_4 und t_5 wird daher der λ -Fehlerentscheidungszähler CAFDG aufeinanderfolgend inkrementiert. Zum Zeitpunkt t_5 für CAFDG = 3 wird das λ -Fehlerentscheidungsflag XDGAUF auf "1" gesetzt (d. h., zum Zeitpunkt t_5 ist die Antwort im Schritt 756 der Fig. 27 JA).

Während des Zeitpunkts t_1 oder während der Zeitdauer vor dem Zeitpunkt t_1 , während der Zeitdauer von t_1 bis t_3 und während der Zeitdauer von t_4 bis t_5 verändert sich der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient FAF mit Bezug auf dessen Durchschnittswert FAFAV wesentlich, so daß der FAF-Summenwert TFAF vom zulässigen Bereich (C bis D) oder dem Normalzustandsbereich abweicht. Daher wird der FAF-Fehlerentscheidungszähler CFAFDG aufeinanderfolgend zu den Zeitpunkten t_1 , t_2 , t_3 und t_5 inkrementiert, und das FAF-Fehlerentscheidungsflag XDGFAP wird zum Zeitpunkt t_3 für CFAFDG = 3 auf "1" gesetzt (d. h., die Antwort im Schritt 762 in Fig. 27 ist JA).

Zum Zeitpunkt t_6 für CDG = 5 werden das λ -Fehlerentscheidungsflag XDGAUF und das FAF-Fehlerentscheidungsflag XDGFAP auf "1" gesetzt, so daß das endgültige Fehlerentscheidungsflag XDG auf "1" gesetzt wird.

Im Zusammenhang mit den in Fig. 30A—30H gezeigten Kurvenbildern ist der Fall beschrieben worden, in dem sowohl der λ -Fehler (des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26) als auch der FAF-Fehler (der Rückführungsverstärkung durch die CPU 42) im wesentlichen gleichzeitig auftreten. In einer tatsächlichen Anwendung ist es jedoch häufiger der Fall, daß ein Fehler auftritt und den anderen Fehler verursacht.

In dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem der vorliegenden Ausführungsform werden daher nach dem Erfassen entweder des λ -Fehlers oder des FAF-Fehlers die Schwellenwerte A, B, C und D zum Entscheiden des λ -Fehlers und des FAF-Fehlers "gelernt", wie nachstehend ausführlich beschrieben ist. In diesem Aufbau,

obgleich nicht gezeigt, in die Anzahl der Einstellungen des λ -Fehlerentscheidungsflags XDGAUF auf "1" (d. h. die Anzahl der Zustimmungen im Schritt 756 der Fig. 27) und die Anzahl der Einstellungen des FAF-Fehlerentscheidungsflags XDGFAP auf "1" (d. h. die Anzahl der Zustimmungen im Schritt 762 der Fig. 27) ständig gezählt, und die Zählwerte werden in dem RAM 44 gespeichert.

Der in Fig. 31 gezeigte Ablaufplan ist eine Schwellenwert-Lernroutine zum Lernen der Schwellenwerte A, B, C und D, um den Normalzustand/Fehlerzustand des λ -Summenwerts T λ und des FAF-Summenwerts TFAF auf der Grundlage der Operationszustände des λ -Fehlerentscheidungsflags XDGAUF und des FAF-Fehlerentscheidungsflags XDGFAP zu entscheiden. Diese Routine wird durch die CPU 42 für eine Zeitdauer von 10 Minuten ausgeführt. In der vorliegenden Ausführungsform entspricht die in Fig. 31 gezeigte Routine der Entscheidungsbereich-Lerneinrichtung.

Wenn die in Fig. 31 gezeigte Routine eingeleitet ist, entscheidet die CPU 42 im Schritt 801, welche der beiden Flags, des λ -Fehlerentscheidungsflags XDGAUF und des FAF-Fehlerentscheidungsflags XDGFAP, früher für die Zeiten der vorhergehenden Verarbeitung und der vorliegenden Verarbeitung bestimmt ist. Wird keines der Flags bestimmt, beendet die CPU 42 die Routine wie sie ist (obgleich dies nicht gezeigt ist).

Ist das λ -Fehlerentscheidungsflag XDGAUF früher bestimmt, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 802, um die Anzahl der Bestimmungen des λ -Fehlerentscheidungsflags XDGAUF zu lesen und geht weiter zum Schritt 803, um zu entscheiden, ob die bestimmte Anzahl einen vorbestimmten Wert K1 erreicht oder nicht. Im Schritt 804 entscheidet die CPU 42, ob die Schwellenwerte C und D einen vorbestimmten Schutzwert erreichen oder nicht, d. h. ob die Schwellenwerte C und D übermäßig "erlernt" sind oder nicht.

Ist die Antwort im Schritt 803 JA und ist die Antwort im Schritt 804 NEIN, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 805. Wenn andererseits die Antwort im Schritt 803 NEIN ist oder wenn die Antwort im Schritt 804 JA ist, umgeht die CPU 42 Schritt 805 und geht weiter zum Schritt 806.

Im Schritt 805 führt die CPU 42 das Lernen der Schwellenwerte C und D aus. Wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ (erfaßt durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26) fehlerhaft wird, kann ein Fehleranzeichen in dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF auftreten, welcher im wesentlichen normal sein sollte. Um dieses Auftreten zu verhindern, wird daher der Normalzustandsbereich, welcher durch die Schwellenwerte C und D definiert ist, erweitert. In spezifischer Weise wird der Schwellenwert C vermindert, während der Schwellenwert D erhöht wird, wie in Fig. 29 gezeigt ist.

Dann kann das Lernen der Schwellenwerte C und D zum Erweitern des Normalzustandsbereichs ausschließlich für einen der Schwellenwerte C oder D ausgeführt werden.

Dann setzt die CPU 42 im Schritt 806 die Anzahl der Bestimmungen der Fehlerentscheidungsflags XDGAUF und XDGFAP zurück und beendet die vorliegende Routine.

Wird andererseits das FAF-Fehlerentscheidungsflag XDGAUF früher bestimmt, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 807, um die Anzahl der Bestimmungen des Fehlerentscheidungsflags XDGFAP zu lesen und entscheidet im Schritt 808, ob die Anzahl der Bestimmungen einen vorbestimmten Wert K2 erreicht oder nicht. Die CPU 42 entscheidet ferner im Schritt 809, ob die Schwellenwerte einen vorbestimmten Schutzwert erreichen oder nicht, d. h. ob die Schwellenwerte A und B übermäßig "erlernt" sind oder nicht.

Ist die Antwort im Schritt 808 JA und ist die Antwort im Schritt 809 NEIN, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 810. Wenn andererseits die Antwort im Schritt 808 NEIN ist oder wenn die Antwort im Schritt 809 JA ist, umgeht die CPU 42 den Schritt 810 und geht weiter zum Schritt 806.

Die CPU 42 führt im Schritt 810 das Lernen der Schwellenwerte A und B aus. Wenn der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient FAF (d. h. die Rückführungsverstärkung) fehlerhaft wird, kann in dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ , welches im wesentlichen normal sein sollte, ein Fehleranzeichen auftreten. Um diese Erscheinung zu verhindern, wird daher der Normalzustandsbereich, wie er durch die Schwellenwerte A und B definiert ist, erweitert. In mehr spezifischer Weise wird der Schwellenwert A vermindert, während der Schwellenwert B vergrößert wird, wie in Fig. 29 gezeigt ist.

Dann ist das Lernen der Schwellenwerte C und D zum Erweitern des Normalzustandsbereichs ausschließlich für einen Schwellenwert C oder D ausführbar.

Die folgenden Wirkungen können gemäß der vorliegenden Ausführungsform erreicht werden, welche ausführlich beschrieben ist.

(a) In der vorliegenden Ausführungsform wird die Differenz (d. h. der λ -Summenwert T λ) zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ , welches durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 erfaßt wird, und dem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} berechnet, und die Differenz (d. h. der FAF-Summenwert TFAF) zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF und dessen Durchschnittswert FAFV wird ebenfalls berechnet. Der Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystems wird diagnostiziert, indem jene berechneten Fehlerentscheidungselemente (d. h. der λ -Summenwert T λ und der FAF-Summenwert TFAF) veranlaßt werden, den Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungsbereichen (wie in Fig. 29 gezeigt), die durch die zwei Schwellenwerte einzeln definiert sind, zu entsprechen.

Somit ist es möglich, ein System zu schaffen, welches eine leichte und eindeutige Fehlerentscheidung ausführen kann, im Gegensatz zu dem bestehenden Fehlerentscheidungssystem, durch Vornehmen eines Vergleichs zwischen dem Fehlerentscheidungselement und dem Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungsbereich. Demzufolge ist der Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystems, einschließlich des Fehlers des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 und des Regelfehlers des Mikroprozessors (ECU 41) genau diagnostizierbar, um zu einer Erhöhung der Regelgenauigkeit des Regelungssystems beizutragen.

(b) Zur Fehlerdiagnose werden weiterhin die Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ , welches

durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 erfaßt wird, und dem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} sowie die Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF und dessen Durchschnittswert FAFAV nacheinander summiert, und diese Summierungsergebnisse (d. h. der λ -Summenwert $T\lambda$ und der FAF-Summenwert TFAF) werden als die Fehlerentscheidungselemente verwendet (d. h., $T\lambda$ ist das erste Fehlerentscheidungselement und TFAF ist das zweite Fehlerentscheidungselement). Somit ist es möglich, die zweckentsprechenden Luft/Kraftstoff-Verhältnisdaten und die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturdaten zu erhalten. Da die Fehlerdiagnose auf der Grundlage der Summenwerte der einzelnen Daten ausgeführt wird, ist sie kaum durch die äußeren Störungen beeinflusst (z. B. die zeitweiligen Störungen der Sensorausgabe und des Korrekturkoeffizienten).

(c) Wenn in der vorliegenden Ausführungsform weiterhin die Fehlerentscheidungselemente eine vorbestimmte Anzahl (z. B. 3mal in der vorliegenden Ausführungsform) oder mehrfach entschieden werden, zu den Fehlerentscheidungsbereichen zu gehören, innerhalb einer vorbestimmten Anzahl von Fehlerdiagnosen (z. B. CDG = 5mal in der vorliegenden Ausführungsform), wird schließlich diagnostiziert, daß das Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem fehlerhaft ist. In diesem Fall kann die Zuverlässigkeit der Fehlerdiagnose weiter erhöht werden als in dem Fall, wenn die Fehlerdiagnose für jede Routine als das Endergebnis verwendet wird.

(d) In dem Bereich, in welchem der λ -Summenwert $T\lambda$ und der FAF-Summenwert TFAF kleiner als die vorbestimmten Werte sind (d. h. $T\lambda \leq A$ und $TFAF \leq C$), unter Bezugnahme auf Fig. 29, wird eine Bestimmung, daß das Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem im Normalzustand ist, unterbunden. D. h., in dem Bereich, in welchem die Veränderung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ und die Veränderung des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF gering sind, ist die Zuverlässigkeit der Fehlerdiagnose unter Verwendung dieser Daten so eingeschränkt, daß der Fehler möglicherweise übersehen werden kann. Wenn die vorstehend erwähnte Entscheidung des Normalzustands unterbunden wird, kann die fälschliche Erfassung der Fehlerdiagnose verhindert werden, um die Zuverlässigkeit zu erhöhen.

(e) In der vorliegenden Ausführungsform wird weiterhin der Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungsbereich "erlernt", um den Normalzustand-Entscheidungsbereich zu vergrößern (d. h. den Bereich von C bis D in Fig. 29), wenn eine Erfassung eines Fehlers auf der Grundlage des λ -Summenwerts $T\lambda$ erfolgt. Wird andererseits ein Fehler auf der Grundlage des FAF-Summenwerts TFAF erfaßt, wird der Normalzustand/Fehlerzustand "erlernt", um den Normalzustand-Entscheidungsbereich (d. h. den Bereich von A bis B in Fig. 29) mit Bezug auf das Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ zu vergrößern.

Wenn der Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 26 oder der Regelfehler in der ECU 41 auftritt, wird angenommen, daß das Auftreten beider Fehler weniger häufig als das Auftreten eines Fehlers sei. Wenn der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 oder die ECU 41 fehlerhaft wird, verursacht dies ein Fehleranzeichen in der anderen Einrichtung.

In dem vorstehend erwähnten Aufbau ist daher in dem Fall, wenn nur ein Fehler erfaßt wird, der Bereich zum Entscheiden des anderen Normalzustands vergrößert, um die Fehlerentscheidungsbedingungen zu lockern. Demzufolge kann der Fehler, wenn er wirklich auftritt, in einer Weise diagnostiziert werden, um ihn unmittelbar widerzuspiegeln. Weiterhin kann der Fehlerinhalt genauer spezifiziert werden.

(Siebente Ausführungsform)

Eine siebente bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nachstehend mit Bezug auf Fig. 32–35 beschrieben. In dem Aufbau der vorliegenden Ausführungsform sind jedoch die Abschnitte, welche zu jenen der vorstehend erwähnten sechsten Ausführungsform gleichwertig sind, mit denselben Bezugszeichen bezeichnet, während deren Beschreibung ausgelassen wird, aber die Unterschiede gegenüber der sechsten Ausführungsform Betonung finden.

In der vorliegenden Ausführungsform wird die Fehlerentscheidungsverarbeitung unter Verwendung des in Fig. 33 gezeigten Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungskurvenbilds ausgeführt, in welchem der λ -Summenwert $T\lambda$ und der FAF-Summenwert TFAF als die Fehlerentscheidungselemente verwendet werden.

In mehr spezifischer Weise wird in Fig. 33 der λ -Summenwert $T\lambda$ durch eine Anzahl von Schwellenwerten gleichmäßig in eine Vielzahl von Bereichen (z. B. sechzehn Bereiche in Fig. 33) unterteilt, und der FAF-Summenwert TFAF wird durch eine Anzahl von Schwellenwerten gleichmäßig in eine Vielzahl von Bereichen (z. B. sechzehn Bereiche in Fig. 33) unterteilt. Demzufolge werden $16 \times 16 = 256$ kleiner Bereiche in dem gesamten Kurvenbild erzeugt.

In diesem Fall werden die einzelnen kleinen Bereiche (d. h. $10 \times 10 = 100$ kleine Bereiche), welche innerhalb des dicken Rahmens desselben Kurvenbilds angeordnet sind, als die Normalzustandsbereiche bestimmt, wobei die einzelnen kleinen Bereiche außerhalb des dicken Rahmens als die Fehlerzustandsbereiche bestimmt sind. In der vorliegenden Ausführungsform erfolgt weiterhin die Fehlerentscheidung dahingehend, zu welchen der Normalzustand/Fehlerzustand-Bereiche die Einzelwerte $T\lambda$ und TFAF gehören. Das in Fig. 33 gezeigte Kurvenbild wird gespeichert und in dem Datensicherungs-RAM 45 gespeichert, welcher als ein Speicher wirkt.

Fig. 32 zeigt einen Ablaufplan einer Fehlerentscheidungsroutine in der vorliegenden Ausführungsform. Diese Routine wird durch die in Fig. 27 gezeigte Routine in der vorhergehenden sechsten Ausführungsform ersetzt (d. h. die Verarbeitung im Schritt 750 in Fig. 24).

Wenn die in Fig. 32 gezeigte Routine eingeleitet ist, inkrementiert die CPU 42 im Schritt 901 den Verarbeitungszähler CDG, welcher die Anzahl der Ausführungen der Fehlerentscheidungsverarbeitung ausführt, um "1" und entscheidet im Schritt 902, ob der Verarbeitungszähler CDG "5" übersteigt oder nicht. Auf der Anfangsstufe zu Beginn der Verarbeitung ist die Antwort im Schritt 902 NEIN, so daß die CPU 42 weiter zum Schritt 903 geht.

Die CPU 42 entscheidet im Schritt 903, ob der λ -Summenwert $T\lambda$ und der FAF-Summenwert TFAF innerhalb des Normalzustandsbereichs des in Fig. 33 gezeigten Kurvenbilds sind. In spezieller Weise gilt, wenn $T\lambda = T\lambda_1$ und $TFAF = TFAF_1$ in dem in Fig. 33 gezeigten Kurvenbild sind, wird ein kleiner Bereich P des Normalzustandsbereichs (innerhalb des dicken Rahmens) so ausgewählt, daß der Normalzustand entschieden wird. Wenn $T\lambda = T\lambda_2$ und $TFAF = TFAF_2$ sind, wird ein kleiner Bereich Q innerhalb des Fehlerzustandsbereichs (außerhalb des dicken Rahmens) so ausgewählt, daß der Fehlerzustand entschieden wird. 5

Sind somit die Werte $T\lambda$ und TFAF innerhalb des Normalbereichs und ist die Antwort im Schritt 903 JA, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 904, um einen Fehlerentscheidungszähler CMPDG zu belassen wie er ist. Wenn andererseits die Werte $T\lambda$ und TFAF innerhalb des Fehlerzustandsbereichs sind und wenn die Antwort im Schritt 903 NEIN ist, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 905, um einen Fehlerentscheidungszähler CMPFDG um "1" zu inkrementieren. 10

Dann wird die in Fig. 32 gezeigte Routine wiederholt ausgeführt. Wenn die Antwort im Schritt 902 demgemäß JA ist, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 906, um zu entscheiden, ob der Fehlerentscheidungszähler CMPDG nicht kleiner als "3" ist oder nicht. Ist weiterhin $CMPDG < 3$, setzt die CPU 42 im Schritt 907 das endgültige Fehlerentscheidungsflag XDG auf "0" zurück. Wenn $CMPDG \geq 3$ ist, setzt die CPU 42 im Schritt 908 das endgültige Fehlerentscheidungsflag XDG auf "1". 15

Dann setzt die CPU 42 im Schritt 909 den Verarbeitungszähler CDG auf "0" zurück. Die CPU 42 setzt im Schritt 910 den Fehlerentscheidungszähler CMPDG auf "0" zurück und beendet die vorliegende Routine.

Andererseits zeigt Fig. 34 einen Ablaufplan einer Gleichungslernroutine zum Erlernen der Normalzustand/Fehlerzustand-Bereiche in dem in Fig. 33 gezeigten Kurvenbild. 20

Diese Routine wird durch die CPU 42 für eine vorbestimmte Zeitdauer ausgeführt. In der vorliegenden Ausführungsform entspricht die in Fig. 34 gezeigte Routine der Entscheidungsbereich-Lerneinrichtung.

In Fig. 34 entscheidet die CPU 42 im Schritt 1001, ob die Bedingungen (d. h. die Lernbedingungen) zum Erlernen der Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungsbereiche des Kurvenbilds erfüllt sind oder nicht. Diese Lernbedingungen schließen den Fall ein, daß die kleinen Bereiche, welche zu entscheiden sind, daß sie normal oder fehlerhaft sind, jedesmal sehr unterschiedlich sind, daß sowohl der λ -Summenwert $T\lambda$ als auch der FAF-Summenwert TFAF auf einem kleinen Wert erhalten werden usw. Wenn diese Lernbedingungen erfüllt sind, kann eine sachgemäße Fehlerentscheidung möglicherweise nicht ausgeführt werden, und die Antwort im Schritt 1001 ist zustimmend, weil die einzelnen kleinen Normalzustand/Fehlerzustand-Bereiche in dem in Fig. 33 gezeigten Kurvenbild gelernt werden müssen. 25

Sind die Lernbedingungen erfüllt, so daß die Antwort im Schritt 1001 JA ist, geht die CPU 42 weiter zum Schritt 1002, um einen Zähler CT um "1" zu inkrementieren. Die CPU 42 entscheidet im nachfolgenden Schritt 1003, ob der numerische Wert des Zählers CT größer als ein vorbestimmter Entscheidungswert KCT ist oder nicht. Nur wenn die Antwort im Schritt 1003 JA ist, führt die CPU 42 im Schritt 1004 die Lernroutine des in Fig. 33 gezeigten Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungskurvenbilds aus. 30

Die CPU 42 setzt im nachfolgenden Schritt 1005 den Zähler CT auf "0" zurück und beendet dann die vorliegende Routine. Wenn die Antworten in den Schritten 1001 und 1003 NEIN sind, beendet die CPU 42 die vorliegende Routine ohne jede Handlung und führt die Gleichungslernroutine nicht aus. 35

Ein Ausführungsbeispiel des Lernens der Normalzustand/Fehlerzustand-Gleichung ist in Fig. 35A und in Fig. 35B gezeigt, in welchen das Innere eines dicken Rahmens den Normalzustandsbereich anzeigt und das außerhalb des dicken Rahmens liegende den Fehlerzustandsbereich anzeigt. Diese Bereiche können für alle kleinen Bereiche oder für die zahlreichen kleinen Bereiche insgesamt aktualisiert werden. Zu diesem Lernzeitpunkt kann weiterhin die Anzahl der kleinen Bereiche für den Normalzustandsbereich festgelegt werden (z. B. in Fig. 33 auf 100) oder nicht festgelegt werden. 40

Die vorliegende siebente Ausführungsform kann die Aufgabe der Erfindung erfüllen und die folgenden Wirkungen zusätzlich zu den vorstehend beschriebenen erreichen. 45

(a) In der vorliegenden Ausführungsform wird der Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystems auf der Grundlage des Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungskurvenbilds entsprechend den Fehlerentscheidungselementen (d. h. des λ -Summenwerts $T\lambda$ und des FAF-Summenwerts TFAF) entschieden. Somit kann die Entscheidung der Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungsbereiche leichter realisiert werden. 50

(b) In dem in Fig. 33 gezeigten Kurvenbild ist andererseits eine Anzahl (d. h. $16 \times 16 = 256$ in der vorliegenden Ausführungsform) von kleinen Bereichen ausgebildet, welche gleichmäßig unterteilt sind, um einzeln den λ -Summenwerten $T\lambda$ und den FAF-Summenwerten TFAF zu entsprechen, so daß die Daten, welche den Normalzustand anzeigen, oder die Daten, welche den Fehlerzustand anzeigen, für die einzelnen kleinen Bereiche gespeichert werden. Somit können nähere Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungen als in dem Fall getroffen werden, wenn die Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungsbereiche als größere Bereiche (z. B. $4 \times 4 = 16$ Bereiche) erzeugt sind. 55

(c) In der vorliegenden Ausführungsform werden weiterhin die Normalzustandsdaten oder die Fehlerzustandsdaten der Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungsgleichung, wenn notwendig, erlernt. Somit ist eine genauere Fehlerdiagnose ausführbar, selbst wenn ein Fehlerzustand der einen Einrichtung (z. B. der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 oder der ECU 41) den Zustand der anderen Einrichtung beeinflusst, daß diese ein Fehleranzeichen ausweist. 60

Obgleich die vorliegende Erfindung in Verbindung mit den bevorzugten Ausführungsformen ausführlich und mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben wurde, ist darauf hinzuweisen, daß dem Fachmann verschiedene Änderungen und Abwandlungen nahegelegt sind. Zum Beispiel: 65

(1) In der ersten Ausführungsform werden die zweiten Ableitungen $\Delta^2\lambda_{SM}$ und Δ^2FA_{FSM} , entsprechend den Beschleunigungen des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ und des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturwerts FAF, unter Verwendung der vorstehend erwähnten Gleichungen (14) und (15) berechnet. Für diese Berechnungen der zweiten Ableitungen können die folgenden Grundgleichungen (33) und (34) verwendet werden:

$$\Delta^2\lambda_{SM_i} = (\lambda_{SM_i} - \lambda_{SM_{i-1}}) - (\lambda_{SM_{i-n}} - \lambda_{SM_{i-m-n}}) \quad (33)$$

und

$$\Delta^2FA_{FSM_i} = (FA_{FSM_i} - FA_{FSM_{i-1}}) - (FA_{FSM_{i-n}} - FA_{FSM_{i-m-n}}) \quad (34)$$

(wobei $m = 1, 2, 3 \dots$ und $n = 1, 2, 3 \dots$ sind). Was in der ersten Ausführungsform ausgeführt wurde, ist in den Grundgleichungen als $m = 1$ und $n = 1$ einzusetzen, und diese m - und n -Werte können geändert werden.

(2) In der vorhergehend beschriebenen ersten Ausführungsform wird die Änderungsgeschwindigkeit des erfaßten Luft/Kraftstoff-Verhältnisses beispielhaft durch den Summenwert $\Delta|\Delta^2\lambda_{SM}|$ der zweiten Ableitung $\Delta^2\lambda_{SM}$ des λ_{SM} -Werts dargestellt, und die Änderungsgeschwindigkeit des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten wird durch den Summenwert $\Sigma|\Delta^2FA_{FSM}|$ der zweiten Ableitung Δ^2FA_{FSM} des FA_{FSM} -Werts beispielhaft dargestellt, und der Sensorfehler wird in Abhängigkeit davon diagnostiziert, ob die folgende Ungleichung (35) erfüllt ist oder nicht:

$$\Sigma|\Delta^2FA_{FSM}|/\Sigma|\Delta^2\lambda_{SM}| < \alpha \quad (35)$$

Dieser Aufbau ist wie folgt abwandelbar. Die zweite Ableitung $\Delta^2\lambda_{SM}$ (nicht summiert) des λ_{SM} -Werts kann als die Änderungsgeschwindigkeit des erfaßten Luft/Kraftstoff-Verhältnisses verwendet werden, und die zweite Ableitung Δ^2FA_{FSM} (nicht summiert) des FA_{FSM} -Werts wird als die Änderungsgeschwindigkeit des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten verwendet, so daß der Sensorfehler diagnostiziert werden kann, abhängig davon, ob die folgende Ungleichung erfüllt ist oder nicht:

$$\Delta^2FA_{FSM} / \Delta^2\lambda_{SM} < \alpha' \quad (36)$$

In der zweiten bis vierten Ausführungsform kann der Sensorfehler ebenfalls unter Verwendung der Werte diagnostiziert werden, welche für die vorbestimmten Zeiten unsummiert verbleiben. Wenn die Fehlerdiagnose in diesen Ausbildungen ausgeführt wird, werden die einzelnen numerischen Werte vor dem Summieren zu Änderungsgeschwindigkeiten, und ihr Verhältnis wird der Fehlerdiagnoseparameter, so daß die Aufgabe der vorliegenden Erfindung durch die Ausbildungen ebenfalls erfüllt werden kann.

(3) Durch die veränderbaren Einstellungen der Fehlerentscheidungswerte (α , β_1 , β_2 , γ , δ_1 und δ_2) in den vorhergehenden einzelnen Ausführungsformen werden die Fehlerentscheidungswerte verändert, um die Belastungs-Zustandsmengen ΣPM und ΣNe zu erhöhen, doch diese Einstellungen sind abwandelbar, wie nachstehend beschrieben wird. Wie z. B. in Fig. 21 gezeigt, kann der Fehlerentscheidungswert α (oder β_1 , β_2 oder γ) für eine größere Kühlwassertemperatur Thw kleiner werden. Wie in Fig. 22 gezeigt, können weiterhin die Fehlerentscheidungswerte δ_1 und δ_2 zum Einstellen des Normalzustandsbereichs für eine größere Kühlwassertemperatur Thw kleiner werden.

(4) In der vorhergehenden ersten bis vierten Ausführungsform werden die Filteroperationen in den Schritten 303 und 306 der Fig. 6 ausgeführt, um die Streuung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ und des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF zwischen den Zylindern der Wärmekraftmaschine auszuschließen. Diese Operationen sind in andere Glättungsoperationen abwandelbar, wie z. B. Glättungsoperationen mit n Stufen ($n = 16, 64$ oder dergleichen). Weiterhin sind diese Filter- (oder Glättungs-) Operationen nicht unbedingt wesentlich und können ausgelassen werden, während sie noch zu dem vorliegenden Fehlerdiagnosesystem gehören.

(5) In der in Fig. 6 und Fig. 7 gezeigten Routine werden die Zähler CDG1 bis CDG4 verwendet, um die Fehlerentscheidung auszuführen, doch sie können vereinfacht werden. In spezifischer Weise kann der den fortbestehenden Normalzustand entscheidende Zähler CDG4 ausgelassen werden, um den Zustand zu erhalten, welcher einmal beim Setzen des Fehlerentscheidungsflags XDGAFF begründet wurde. Weiterhin sind die spezifischen Werte der vorbestimmten Werte KX1 bis KX4 zum Entscheiden der Zählwerte der einzelnen Zähler CDG1 bis CDG4 nicht auf die vorstehend spezifizierten Werte begrenzt, sondern können nach Belieben geändert werden. Um die Sensor-Fehlerdiagnosegenauigkeit zu erhöhen, ist es wirkungsvoll, die Zähldauer des Summierzeitzählers CDG1 (oder des Zählers CDG0 in Fig. 16) zu verlängern oder die Anzahl der Zählsschritte des Fehlerdiagnose-Ausführungszählers CDG2 und des Fehlerentscheidungszählers CDG3 zu erhöhen.

(6) Weiterhin sind die vorbestimmten einzelnen Werte KX1 bis KX4 jederzeit gemäß dem Laufzustand der Wärmekraftmaschine veränderlich einstellbar, so daß sie für einen gleichmäßigen Lauf der Wärmekraftmaschine auf relativ kleine Werte eingestellt werden, wogegen sie für einen kurzzeitigen Lauf der Wärmekraftmaschine auf relative große Werte eingestellt werden.

(7) In der Ausführungsform, in welcher die Fehlerdiagnose abhängig davon ausgeführt wird, ob der Fehlerdiagnoseparameter innerhalb des vorbestimmten Normalzustandsbereichs ist oder nicht, wie in der fünften Ausführungsform beschrieben, kann der Fehlerdiagnoseparameter in die Amplitude der Luft/Kraftstoff-

Verhältnis-Schwankung der das Verhältnis der Amplituden der FAF-Schwankung abgewandelt werden.

(8) In der vorhergehenden ersten bis vierten Ausführungsform wird die Fehlerdiagnose für den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor (d. h. den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26), hergestellt als ein Sauerstoffsensor der Grenzstromtype, ausgeführt. Eine Fehlerdiagnose ähnlich jener der vorhergehenden Ausführungsformen ist auf einen Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor anwendbar, welcher als ein Sauerstoffsensor der Pumpstromtype hergestellt ist.

(9) In der vorhergehenden ersten bis vierten Ausführungsform wird die erfindungsgemäße Sensorfehlerdiagnose durch das Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem ausgeführt, welches die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelung unter Anwendung der modernen Regelungstheorie realisiert. Jedoch kann die vorliegende Erfindung natürlich auch von einem System gemäß einer anderen Regelung (z. B. der PID-Regelung) ausgeführt werden.

(10) In der vorhergehenden sechsten und siebenten Ausführungsform werden der λ -Summenwert $T\lambda$ und der FAF-Summenwert TFAF für die Zeitdauer von 1280 ms berechnet, so daß die Fehlerentscheidung unter Verwendung der Berechnungsergebnisse ausgeführt wird. Die Zeitdauer zur Berechnung des λ -Summenwerts $T\lambda$ und des FAF-Summenwerts TFAF kann jedoch verkürzt oder verlängert werden. Wie z. B. in Fig. 36 gezeigt, ist die Zeitdauer zum Berechnen des λ -Summenwerts $T\lambda$ und des FAF-Summenwerts TFAF gemäß diesen Summenwerten veränderbar (wie gezeigt auf 320 ms, 640 ms und 1280 ms). Dann ist es für den in längerer Zeitdauer berechneten λ -Summenwert $T\lambda$ und den FAF-Summenwert TFAF wahrscheinlicher, daß der Wärmekraftmaschinen-Laufzustand kurzzeitig ist, so daß die Summierzeitdauer verlängert wird.

(11) In der vorhergehenden sechsten und siebenten Ausführungsform ist die Anzahl der Ausführungen der Fehlerentscheidung gleich 5 (wie mit Bezug auf die Routine in Fig. 24 gezeigt ist). Wird der Fehler 3mal oder häufiger für die fünf Ausführungen entschieden, erfolgt schließlich die Entscheidung, daß das Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem fehlerhaft ist. Die Anzahl der Ausführungen der Fehlerentscheidung ist änderbar, wie in Fig. 37 gezeigt ist. In Fig. 37 ist die Anzahl der Ausführungen auf 3, 5 und 7 eingestellt, gemäß dem λ -Summenwert $T\lambda$ und dem FAF-Summenwert TFAF. Für die größeren Werte gemäß $T\lambda$ und TFAF wird eingeschätzt, daß der Wärmekraftmaschinen-Laufzustand kurzzeitiger ist, so daß die Anzahl der Ausführungen größer wird. In dieser Abwandlung kann die Anzahl der Entscheidungen (der Schritte 756 und 762 in Fig. 24) des λ -Fehlers und des FAF-Fehlers bei der abschließenden Entscheidung, daß das Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem fehlerhaft ist, bei 3 Ausführungen belassen oder verändert werden.

(12) In der vorhergehenden sechsten und siebenten Ausführungsform werden der λ -Summenwert $T\lambda$ und der FAF-Summenwert TFAF als das erste und das zweite Fehlerentscheidungselement verwendet, doch sie können geändert werden. Z. B. werden die Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ , welches durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 erfaßt wird, und dem Soll- λ TG sowie die Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF und dessen Durchschnittswert FAFV berechnet und jeweils als das erste Fehlerentscheidungselement und als das zweite Fehlerentscheidungselement verwendet. Gemäß diesen einzelnen Fehlerentscheidungselementen kann weiterhin der Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystems diagnostiziert werden. In dieser Abwandlung kann der Fehler gemäß den Schwellenwerten, wie in der sechsten Ausführungsform, oder auf der Grundlage der Gleichung, wie in der siebenten Ausführungsform, entschieden werden.

(13) In der vorhergehenden sechsten und siebenten Ausführungsform werden die Schwellenwerte zum Entscheiden des Normalzustands/Fehlerzustands als eine Vielzahl für jeweils den λ -Summenwert $T\lambda$ und den FAF-Summenwert TFAF erzeugt, können jedoch auf einen vermindert werden. Dieselben Schwellenwerte werden einzeln für den λ -Summenwert $T\lambda$ und den FAF-Summenwert TFAF erzeugt, aber es kann eine unterschiedliche Anzahl von Schwellenwerten vorgesehen werden.

(14) In der siebenten Ausführungsform ist die Anzahl der Schwellenwerte zum Definieren der Bereiche des Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungskurvenbilds veränderbar, um die Anzahl der zu definierenden Bereiche zu erhöhen oder zu vermindern. Wird z. B. die Anzahl der Bereiche reduziert, nimmt die Entscheidungsgenauigkeit mehr oder weniger ab, doch die Speicherkapazität kann vermindert werden.

(15) Ist einmal das abschließende Fehlerentscheidungsflag XDG bestimmt, braucht die Fehlerentscheidungsroutine nicht mehr ausgeführt zu werden, um die CPU 42 von Operationen zu entlasten. In diesem Fall wird zu den in Fig. 24 gezeigten Fehlerentscheidungsbedingungen eine Bedingung hinzugefügt, um zu bestätigen, daß das abschließende Fehlerentscheidungsflag XDG nicht bestimmt ist. Wenn dieses abschließende Fehlerentscheidungsflag XDG bestimmt ist, wird die vorliegende Routine ohne jede Handlung beendet, während die nachfolgende Routine umgangen wird.

(16) In der vorhergehenden sechsten und siebenten Ausführungsform wird die Sensorfehlerdiagnose der vorliegenden Erfindung durch das Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem ausgeführt, welches die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelung unter Anwendung der gegenwärtigen Regelungstheorie realisiert. Jedoch kann die vorliegende Erfindung natürlich durch ein anderes Regelungsverfahren (z. B. die PID-Regelung) ausgeführt werden.

Derartige Änderungen und Abwandlungen sind als in dem Rahmen der Erfindung fallend anzusehen, welche durch die beigefügten Ansprüche definiert ist.

Ein Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 ist im Abgasrohr 12 einer Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung 1 angeordnet. Eine CPU 42 in einer ECU 41 bestimmt einen Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF gemäß der Differenz zwischen einem Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ , welches durch den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor 26 erfaßt ist, und einem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ TG, und führt die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelung unter Verwendung des Korrekturkoeffizienten FAF aus. Die CPU 42 kann das

Verhältnis zwischen dem Summenwert $\Sigma|\Delta^2\lambda_{SM}|$ der zweiten Ableitung von λ und dem Summenwert $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ der zweiten Ableitung von FAF gegenüber einem vorbestimmten Fehlerentscheidungswert α vergleichen, um die Fehlerdiagnose auszuführen. Ferner kann die CPU 42 nicht nur die Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ und dem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} berechnen, sondern auch die Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF und dessen Durchschnittswert.

Patentansprüche

1. Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor-Fehlerdiagnosesystem, welches aufweist:
 - einen Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor (26) zum Erzeugen eines Signals, welches ein erfaßtes Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ einer Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung (1) darstellt,
 - eine Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient-Erzeugungseinrichtung (42, P3, 103) zum Erzeugen eines Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten (FAF) gemäß einer Differenz zwischen dem erfaßten Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ und einem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} ,
 - eine Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Änderungsberechnungseinrichtung (42, 304, 314, 311) zum Berechnen einer Änderungsgeschwindigkeit $\Delta^2\lambda_{SM}$ des erfaßten Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ ,
 - eine Korrekturkoeffizient-Änderungsberechnungseinrichtung (42, 307, 315, 312) zum Berechnen einer Änderungsgeschwindigkeit Δ^2FAFSM des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF und
 - eine Fehlerdiagnoseeinrichtung (42, 203—222, 300) zur Diagnose eines Fehlers des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors (26) auf der Grundlage eines Vergleichs zwischen der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Änderungsgeschwindigkeit $\Delta^2\lambda_{SM}$ und der Korrekturkoeffizient-Änderungsgeschwindigkeit Δ^2FAFSM .
2. Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor-Fehlerdiagnosesystem gemäß Anspruch 1, wobei die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Änderungsberechnungseinrichtung (42, 304) zum Bestimmen der Änderungsgeschwindigkeit $\Delta^2\lambda_{SM}$ des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses auf der Grundlage einer zweiten Ableitung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ vorgesehen ist.
3. Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor-Fehlerdiagnosesystem gemäß Anspruch 1, wobei die Korrekturkoeffizient-Änderungsberechnungseinrichtung (42, 307) zum Bestimmen der Änderungsgeschwindigkeit Δ^2FAFSM des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten auf der Grundlage einer zweiten Ableitung des Korrekturkoeffizienten FAF vorgesehen ist.
4. Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor-Fehlerdiagnosesystem gemäß Anspruch 1, wobei die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Änderungsberechnungseinrichtung (42, 304) zum Berechnen der Änderungsgeschwindigkeit $\Delta^2\lambda_{SM}$ des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses auf der Grundlage einer Amplitude der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Änderungsgeschwindigkeit vorgesehen ist und die Korrekturkoeffizient-Änderungsberechnungseinrichtung zum Berechnen der Änderungsgeschwindigkeit Δ^2FAFSM des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten auf der Grundlage einer Amplitude der Korrekturkoeffizient-Änderungsgeschwindigkeit vorgesehen ist.
5. Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor-Fehlerdiagnosesystem gemäß Anspruch 1, wobei die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Änderungsberechnungseinrichtung (42, 304, 314) eine Einrichtung (42, 314, 311) zum Summieren einer zweiten Ableitung $\Delta^2\lambda_{SM}$ des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ für eine vorbestimmte Zeitdauer aufweist, um den Summenwert $\Sigma|\Delta^2\lambda_{SM}|$ als die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Änderungsgeschwindigkeit zu bestimmen, die Korrekturkoeffizient-Änderungsberechnungseinrichtung (42, 307, 315, 312) eine Einrichtung (42, 315, 312) zum Summieren der zweiten Ableitung Δ^2FAFSM des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF für eine vorbestimmte Zeitdauer aufweist, um den Summenwert $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ als die Korrekturkoeffizient-Änderungsgeschwindigkeit zu bestimmen, und die Fehlerdiagnoseeinrichtung (42, 203—222, 300) eine Einrichtung (42, 204) zum Vergleichen eines Verhältnisses zwischen der summierten zweiten Ableitung $\Sigma|\Delta^2\lambda_{SM}|$ des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses und der summierten zweiten Ableitung $\Sigma|\Delta^2FAFSM|$ des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten mit einem vorbestimmten Fehlerentscheidungswert α aufweist, um einen Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors (26) zu diagnostizieren.
6. Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor-Fehlerdiagnosesystem gemäß Anspruch 1, wobei die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Änderungsberechnungseinrichtung (42, 304, 314, 311) eine Einrichtung zum Summieren der Amplitude der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Änderung für eine vorbestimmte Zeitdauer aufweist, um den Summenwert als die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Änderungsgeschwindigkeit $\Delta^2\lambda_{SM}$ zu bestimmen, die Korrekturkoeffizient-Änderungsberechnungseinrichtung (42, 307, 315, 312) eine Einrichtung zum Summieren der Amplitude der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizientänderung für eine vorbestimmte Zeitdauer aufweist, um den Summenwert als die Korrekturkoeffizient-Änderungsgeschwindigkeit Δ^2FAFSM zu bestimmen, und die Fehlerdiagnoseeinrichtung (42, 202—222, 300) eine Einrichtung zum Vergleichen eines Verhältnisses zwischen der summierten Amplitude der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Änderung und der summierten Amplitude der Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizientänderung mit einem vorbestimmten Fehlerentscheidungswert aufweist, um einen Fehler des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensors (26) zu diagnostizieren.
7. Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor-Fehlerdiagnosesystem gemäß Anspruch 1, welches ferner eine Fehlerentscheidungswert-Einstelleinrichtung (42, 250, 251) zum Bestimmen des Fehlerentscheidungswerts β_1, β_2 aufweist, welcher mit einem Laufzustand der Wärmekraftmaschine veränderlich ist.

8. Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor-Fehlerdiagnosesystem gemäß Anspruch 1, wobei die Fehlerdiagnoseeinrichtung (42, 200—222, 300) vorgesehen ist, um zu diagnostizieren, daß der Sensor (26) im Normalzustand ist, wenn das Verhältnis zwischen der Änderungsgeschwindigkeit $\Delta^2\lambda_{SM}$ des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses und der Änderungsgeschwindigkeit Δ^2FAFSM des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten geringer als ein vorbestimmter Fehlerentscheidungswert α ist. 5
9. Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor-Fehlerdiagnosesystem gemäß Anspruch 1, wobei die Fehlerdiagnoseeinrichtung (42, 200—222, 300) vorgesehen ist, um zu diagnostizieren, daß der Sensor (26) im Normalzustand ist, wenn das Verhältnis zwischen der Änderungsgeschwindigkeit $\Delta^2\lambda_{SM}$ des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses und der Änderungsgeschwindigkeit Δ^2FAFSM des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten größer als ein erster Fehlerentscheidungswert δ_1 und kleiner als ein zweiter Fehlerentscheidungswert δ_2 ist. 10
10. Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor-Fehlerdiagnosesystem gemäß einem der Ansprüche 1—9, wobei die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Änderungsberechnungseinrichtung (42, 304) zum Berechnen der Änderungsgeschwindigkeit $\Delta^2\lambda_{SM}$ des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ durch Glätten des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ und zum Verwenden des geglätteten Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ_{SM} vorgesehen ist, um das Luft/Kraftstoff-Änderungsverhältnis $\Delta^2\lambda_{SM}$ zu berechnen, und 15
- die Korrekturkoeffizient-Änderungsberechnungseinrichtung (42, 307) zum Berechnen der Änderungsgeschwindigkeit Δ^2FAFSM des Korrekturkoeffizienten FAF durch Glätten des Korrekturkoeffizienten FAF und zum Verwenden des geglätteten Korrekturkoeffizienten Δ^2FAFSM vorgesehen ist, um das Korrekturkoeffizient-Änderungsverhältnis Δ^2FAFSM zu berechnen.
11. Fehlerdiagnosesystem, welches aufweist: 20
- einen Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Sensor (26) zum Erzeugen eines Signals, welches ein erfaßtes Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ einer Wärmekraftmaschine mit innerer Verbrennung (1) darstellt,
 - eine Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient-Bestimmungseinrichtung (42, P3, 103) zum Erzeugen eines Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF gemäß einer Differenz zwischen dem erfaßten Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ und einem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} , 25
 - eine Erstes-Element-Berechnungseinrichtung (42, 721, 722) zum Berechnen eines ersten Fehlerentscheidungselements $T\lambda$ auf der Grundlage des erfaßten Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ ,
 - eine Zweites-Element-Berechnungseinrichtung (731, 735) zum Berechnen eines zweiten Fehlerentscheidungselements $TFAF$ auf der Grundlage des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF, welcher durch die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient-Bestimmungseinrichtung (42, P3, 103) bestimmt ist, und 30
 - eine Fehlerentscheidungseinrichtung (42, 750) zur Diagnose eines Fehlers des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystems gemäß einer Vielzahl von Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungsbereichen, welche einzeln durch mindestens einen Schwellenwert (A—D) definiert sind, durch die Wechselbeziehung des ersten Fehlerentscheidungselements ($T\lambda$) und des zweiten Fehlerentscheidungselements ($TFAF$) mit den Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungsbereichen. 35
12. Fehlerdiagnosesystem gemäß Anspruch 11, wobei 40
- die Erstes-Element-Berechnungseinrichtung (42, 721, 722) zum Berechnen des ersten Fehlerentscheidungselements ($T\lambda$) als die Differenz zwischen dem erfaßten Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ und dem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} vorgesehene ist, und
- die Zweites-Element-Berechnungseinrichtung (42, 731 — 735) zum Berechnen der Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF, welcher durch die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient-Bestimmungseinrichtung bestimmt ist, und einem Durchschnittswert des Korrekturkoeffizienten $FAFAV$ als das zweite Fehlerentscheidungselement ($TFAF$) vorgesehen ist.
13. Fehlerdiagnosesystem gemäß Anspruch 11, wobei 45
- die Erstes-Element-Berechnungseinrichtung (42, 722) zum Berechnen des ersten Fehlerentscheidungselements $T\lambda$ durch aufeinanderfolgendes Summieren der Differenz zwischen dem erfaßten Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ und dem Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} vorgesehen ist und
- die Zweites-Element-Berechnungseinrichtung (42, 735) zum Berechnen des zweiten Fehlerentscheidungselements $TFAF$ durch aufeinanderfolgendes Summieren der Differenz zwischen dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF, welcher durch die Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizient-Bestimmungseinrichtung bestimmt ist, und dem Durchschnittswert $FAFAV$ des Korrekturkoeffizienten vorgesehen ist. 50
14. Fehlerdiagnosesystem gemäß einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei die Fehlerdiagnoseeinrichtung (42, 750) für die Diagnose vorgesehene ist, daß das Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem im Fehlerzustand ist, wenn das erste Fehlerentscheidungselement $T\lambda$ und das zweite Fehlerentscheidungselement $TFAF$ zu den Fehlerentscheidungsbereichen einer vorbestimmten Anzahl oder mehr innerhalb einer vorbestimmten Anzahl von Fehlerentscheidungen gehören. 55
15. Fehlerdiagnosesystem gemäß Anspruch 11, wobei die Fehlerdiagnoseeinrichtung (42, 750) zum Unterbinden der Bereiche vorgesehen ist, in welchen die Schwankungen des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ mit Bezug auf das Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ_{TG} und des Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF mit Bezug auf dessen Durchschnittswert $FAFAV$ geringer als vorbestimmte Werte aus der Entscheidung sind, ob das Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Regelungssystem im Normalzustand ist oder nicht. 60
16. Fehlerdiagnosesystem gemäß Anspruch 11, wobei eine Vielzahl von Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungsbereichen, entsprechend dem ersten Fehlerentscheidungselement $T\lambda$ oder dem zweiten Fehlerentscheidungselement $FAFAV$, gespeichert ist und als eine Gleichung im Speicher gespeichert wird, so daß die Fehlerdiagnoseeinrichtung (42, 750) die Fehlerdiagnose mit den Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungsbereichen der Gleichung ausführt. 65

17. Fehlerdiagnosesystem gemäß Anspruch 16, wobei die Gleichung eine Vielzahl von Bereichen aufweist, welche gemäß dem ersten Fehlerentscheidungselement $T\lambda$ und dem zweiten Fehlerentscheidungselement FAFAV gleichmäßig in eine Vielzahl von Gruppen unterteilt sind und einzeln mit mindestens einem der Datenelemente, der Normalzustandsdaten und der Fehlerzustandsdaten, gespeichert werden.

18. Fehlerdiagnosesystem gemäß einem der Ansprüche 11 bis 17, welches ferner eine Entscheidungsbereich-Lerneinrichtung (42, 801–810) zum Lernen der Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungsbereiche, entsprechend dem ersten Fehlerentscheidungselement $T\lambda$ und dem zweiten Fehlerentscheidungselement TFAF, auf der Grundlage vorbestimmter Lernbedingungen aufweist.

19. Fehlerdiagnosesystem gemäß Anspruch 18, wobei die Entscheidungsbereich-Lerneinrichtung (42, 801–810) für das Lernen der Normalzustand/Fehlerzustand-Entscheidungsbereiche vorgesehen ist, um einen Normalzustand-Entscheidungsbereich mit Bezug auf den Luft/Kraftstoff-Verhältnis-Korrekturkoeffizienten FAF zu vergrößern, wenn ein Fehlerzustand auf der Grundlage des ersten Fehlerentscheidungselements $T\lambda$ erfaßt wird, und den Normalzustand-Entscheidungsbereich mit Bezug auf das Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ zu vergrößern, wenn ein Fehlerzustand auf der Grundlage des zweiten Fehlerentscheidungselements TFAF erfaßt wird.

Hierzu 26 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 2

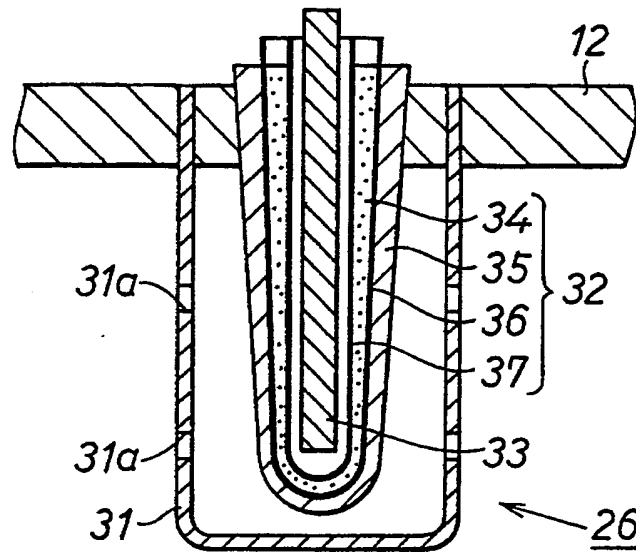


FIG. 3

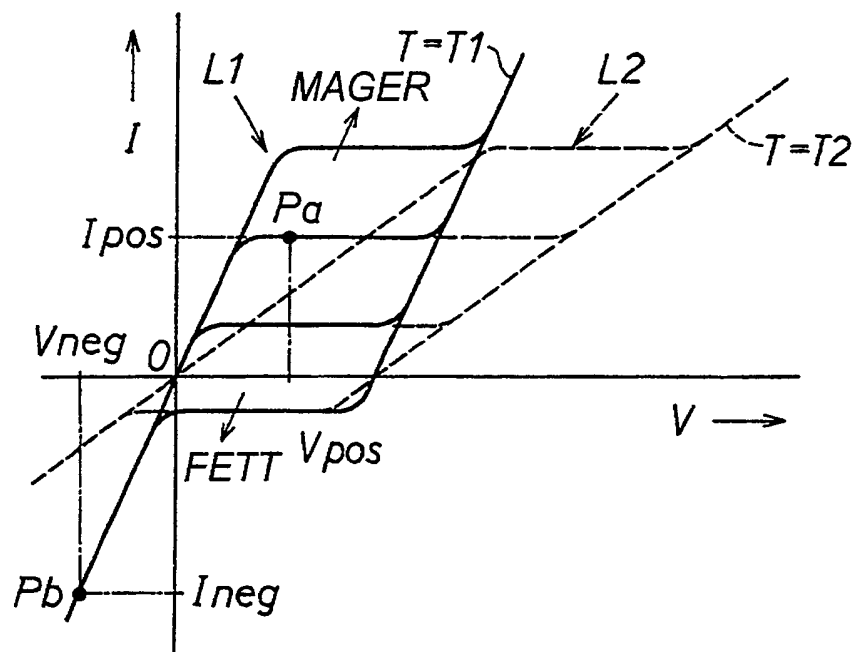


FIG. 5

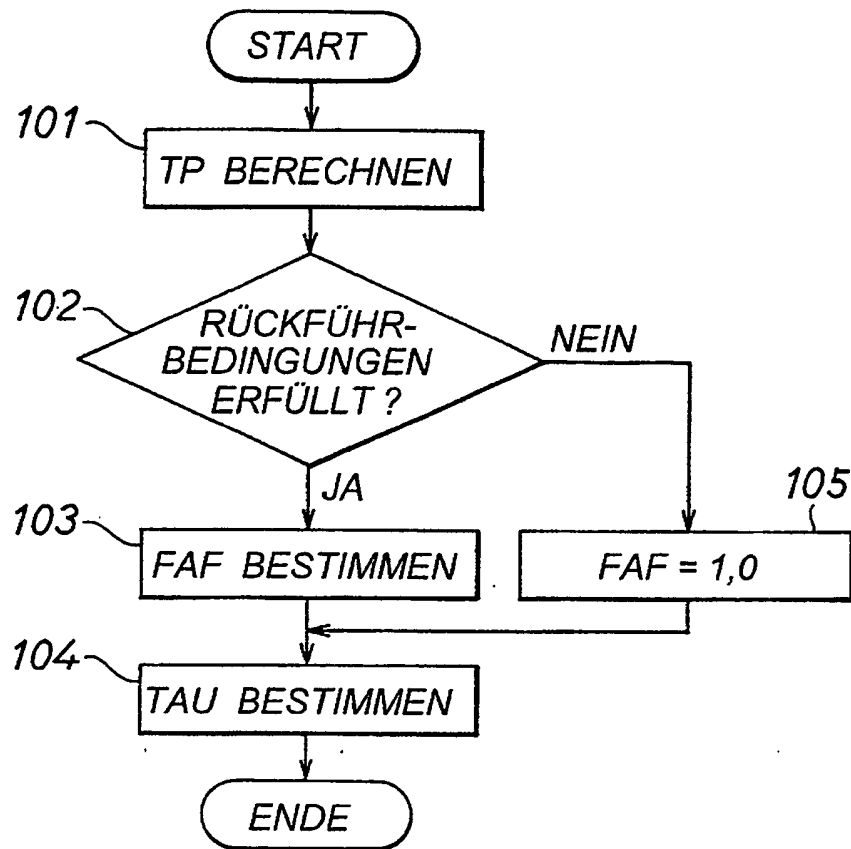


FIG. 6

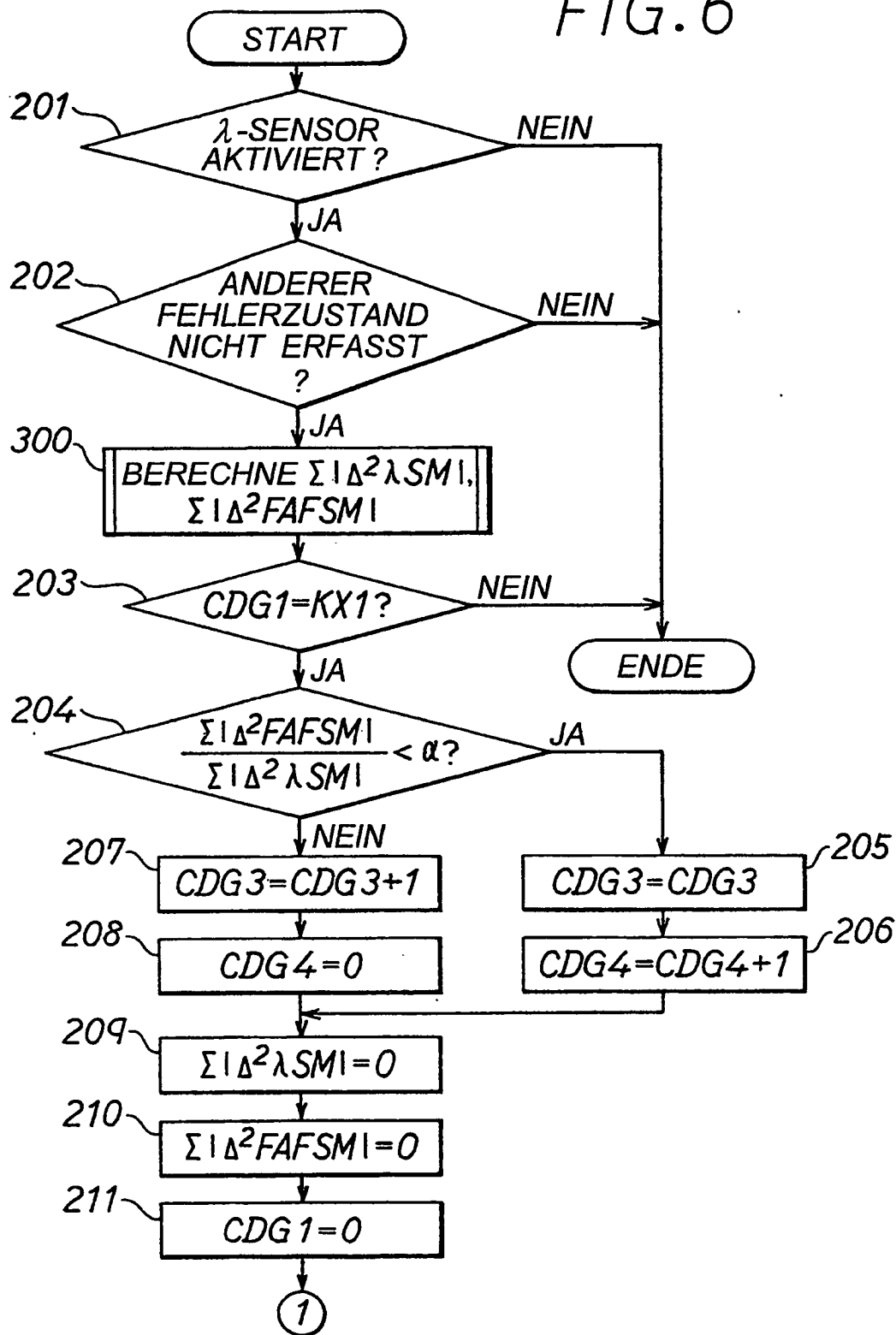


FIG. 7

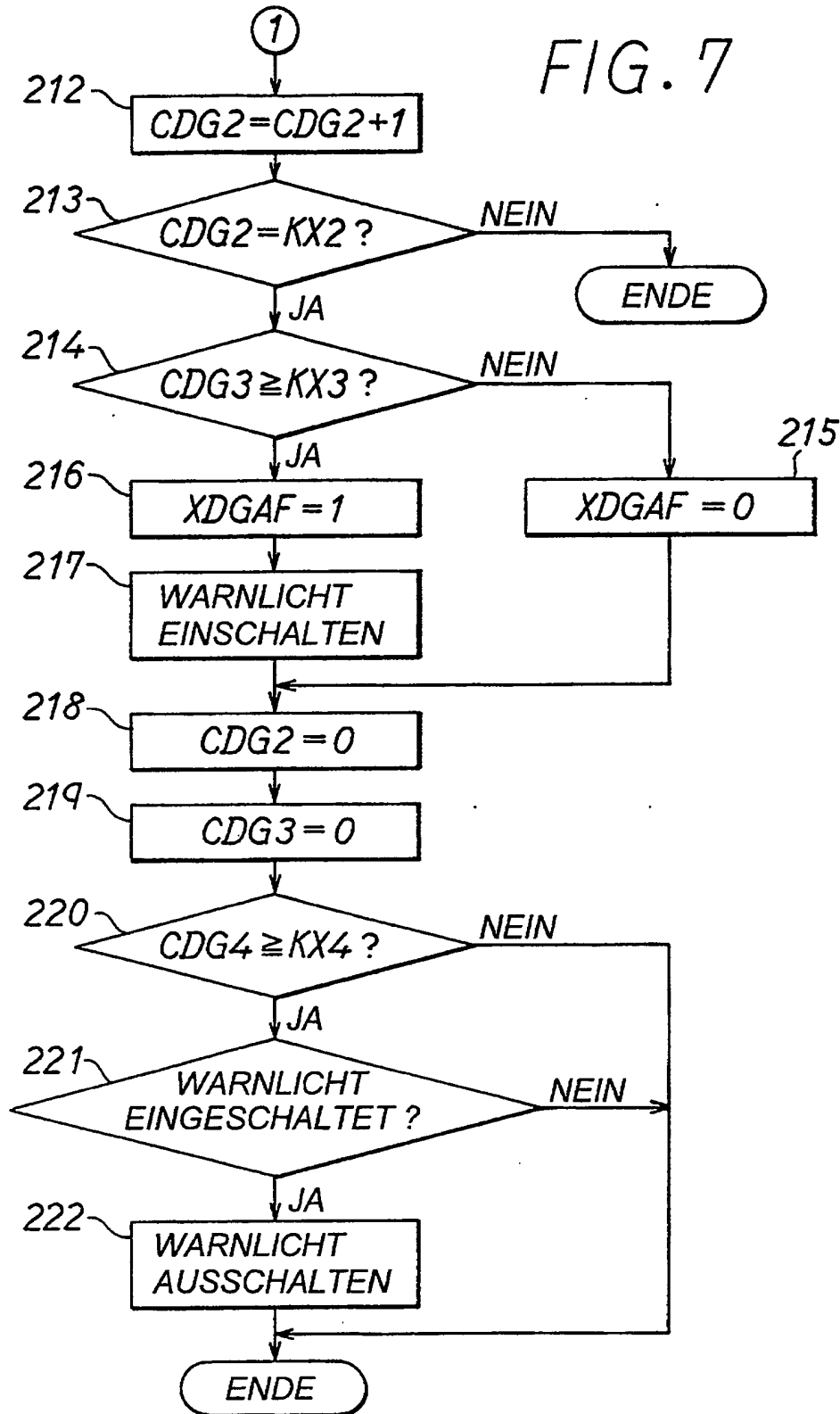


FIG. 8

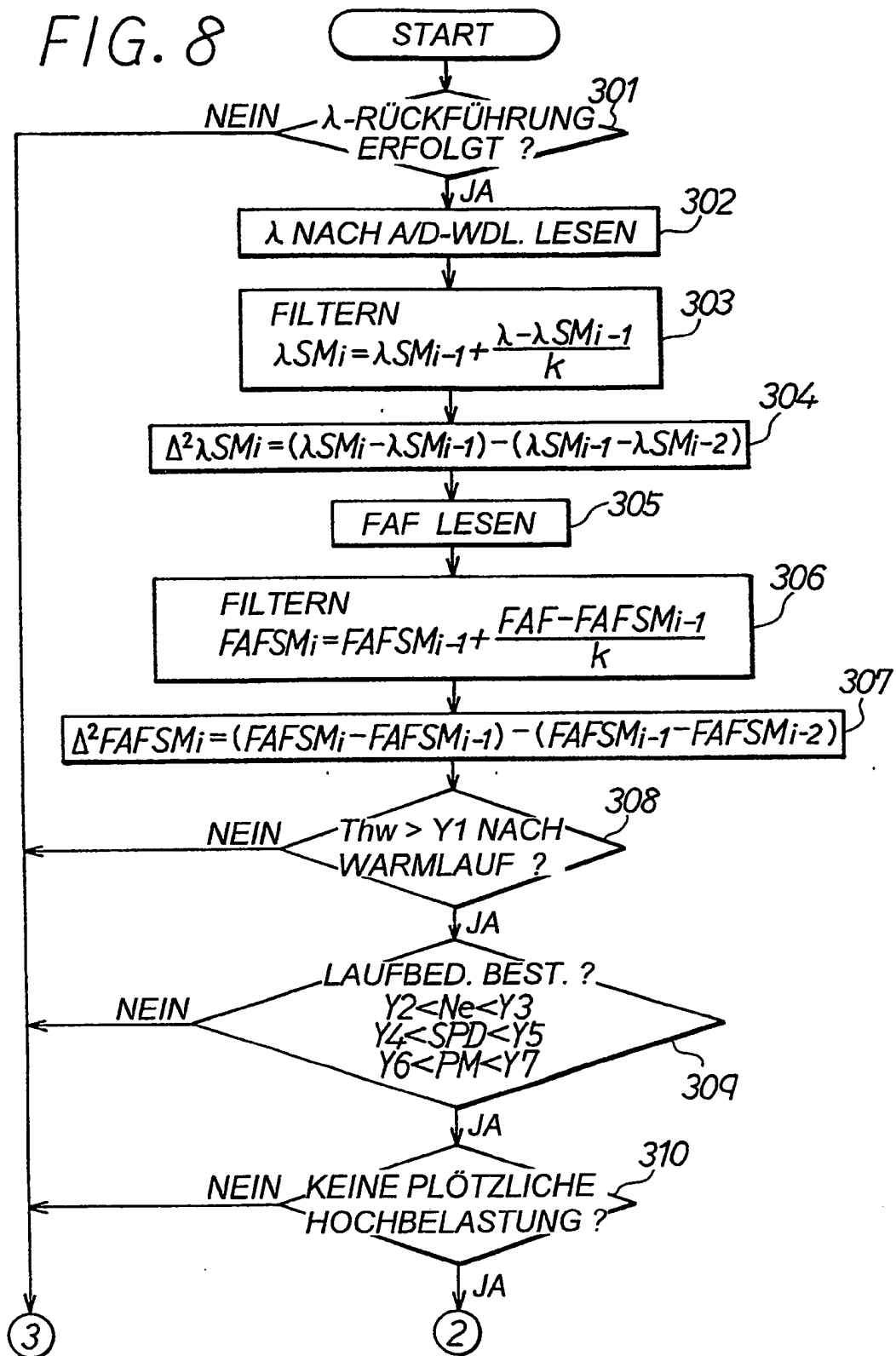


FIG. 9

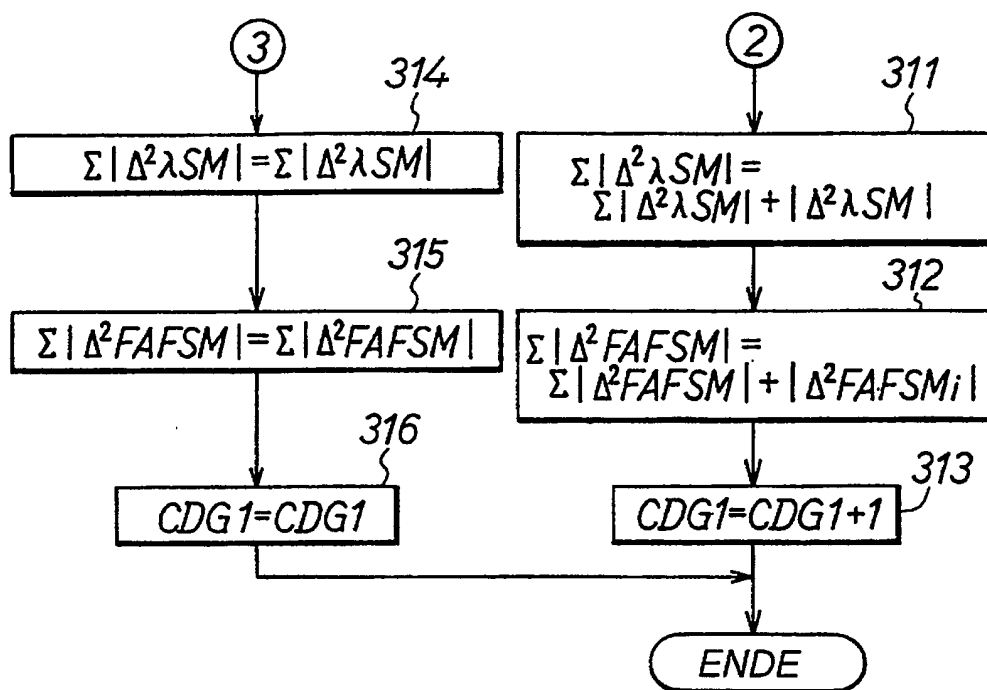
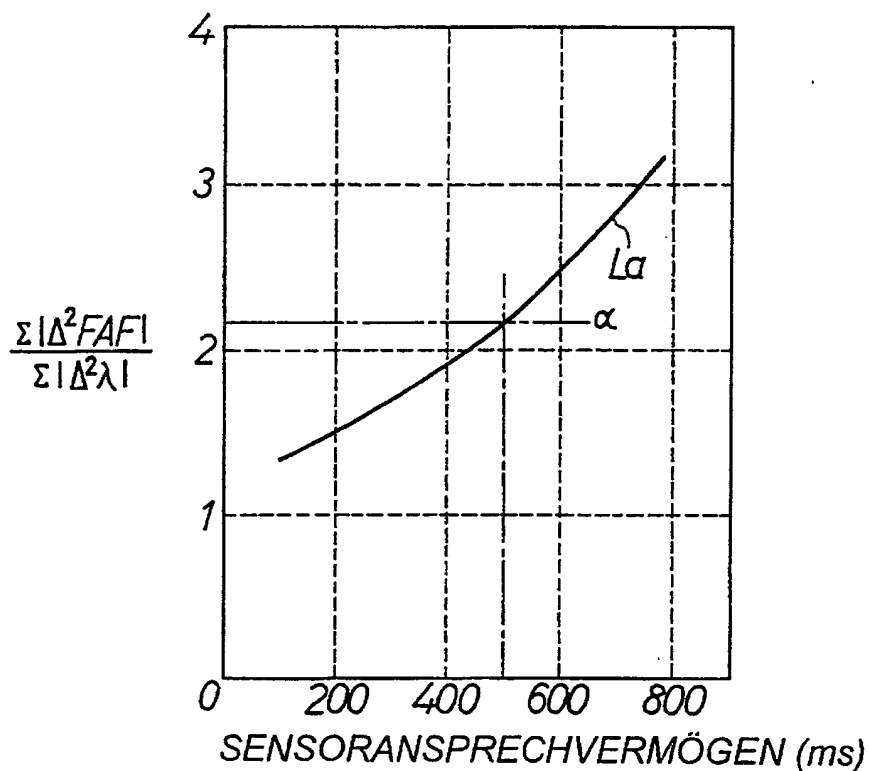


FIG. 10



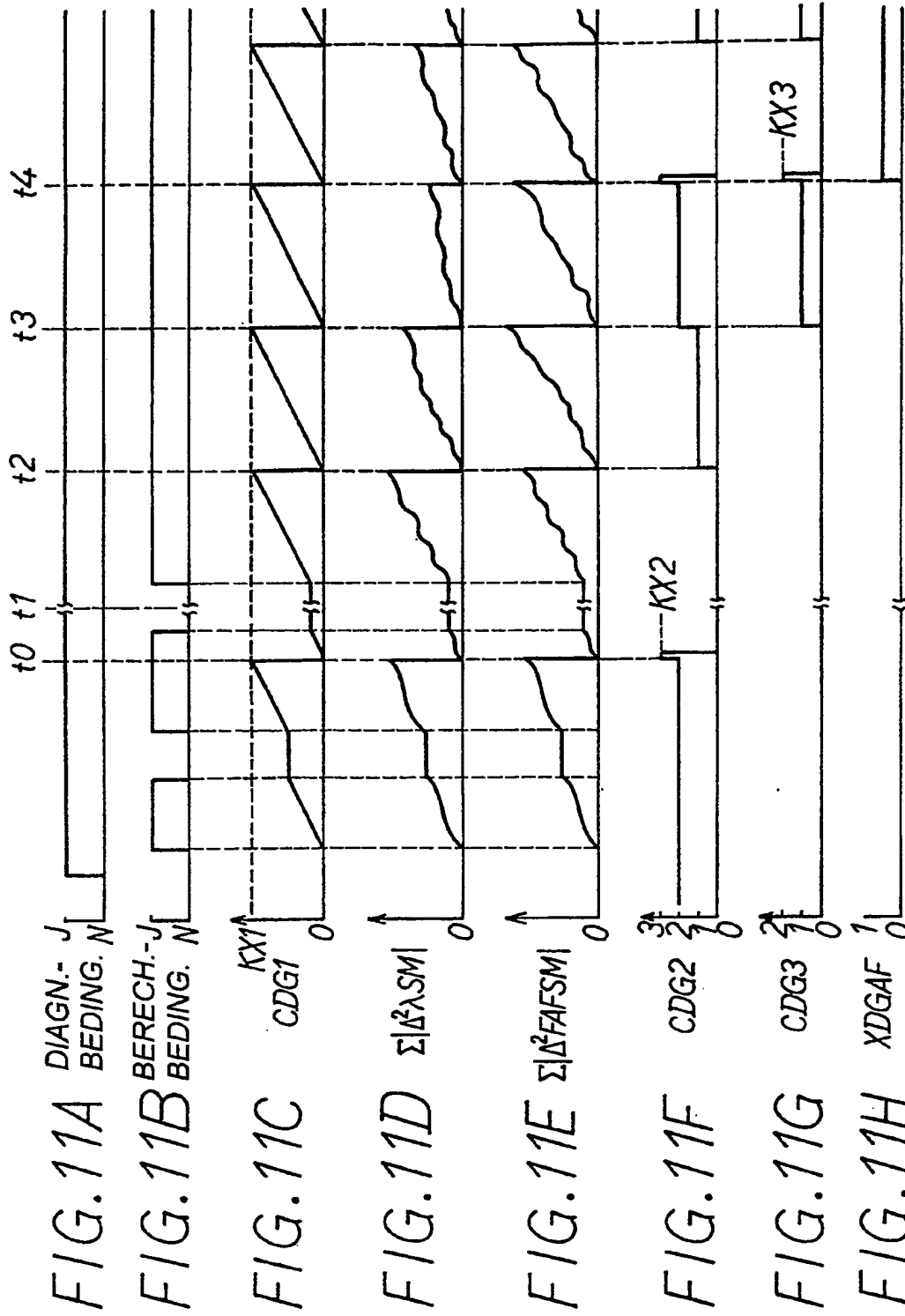


FIG. 12

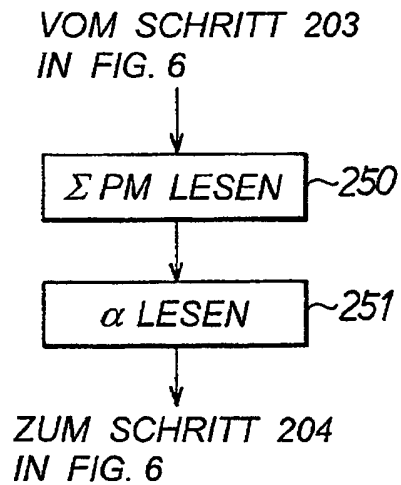


FIG. 13

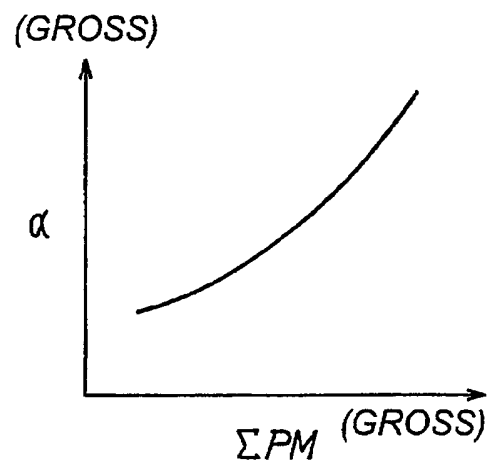


FIG. 19

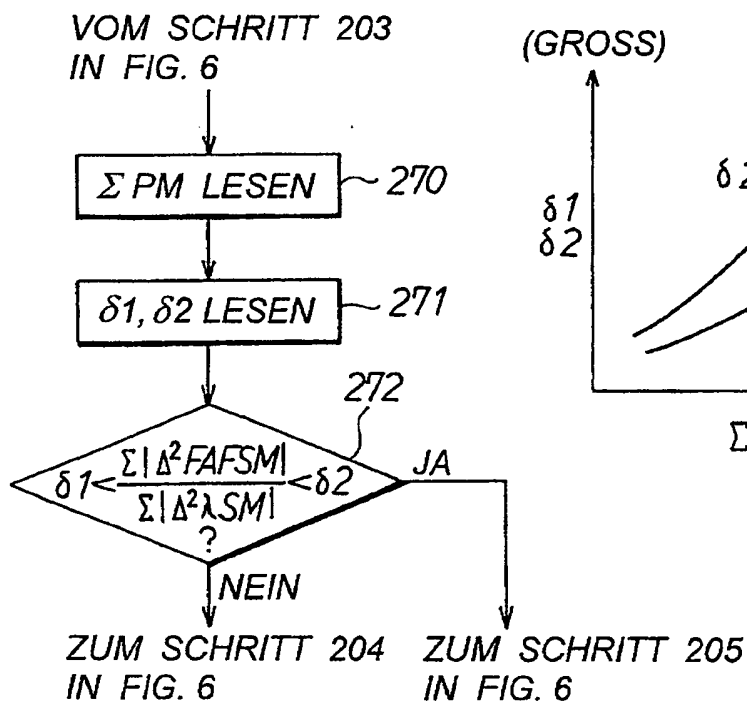


FIG. 20

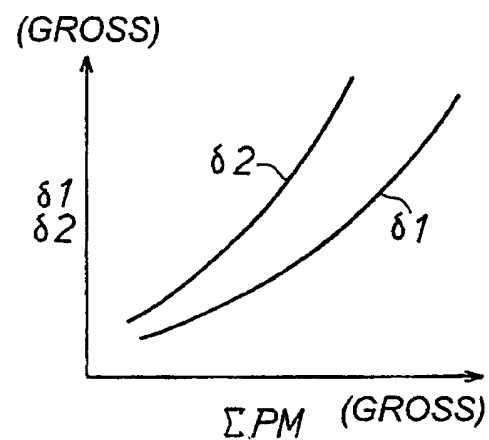


FIG. 14

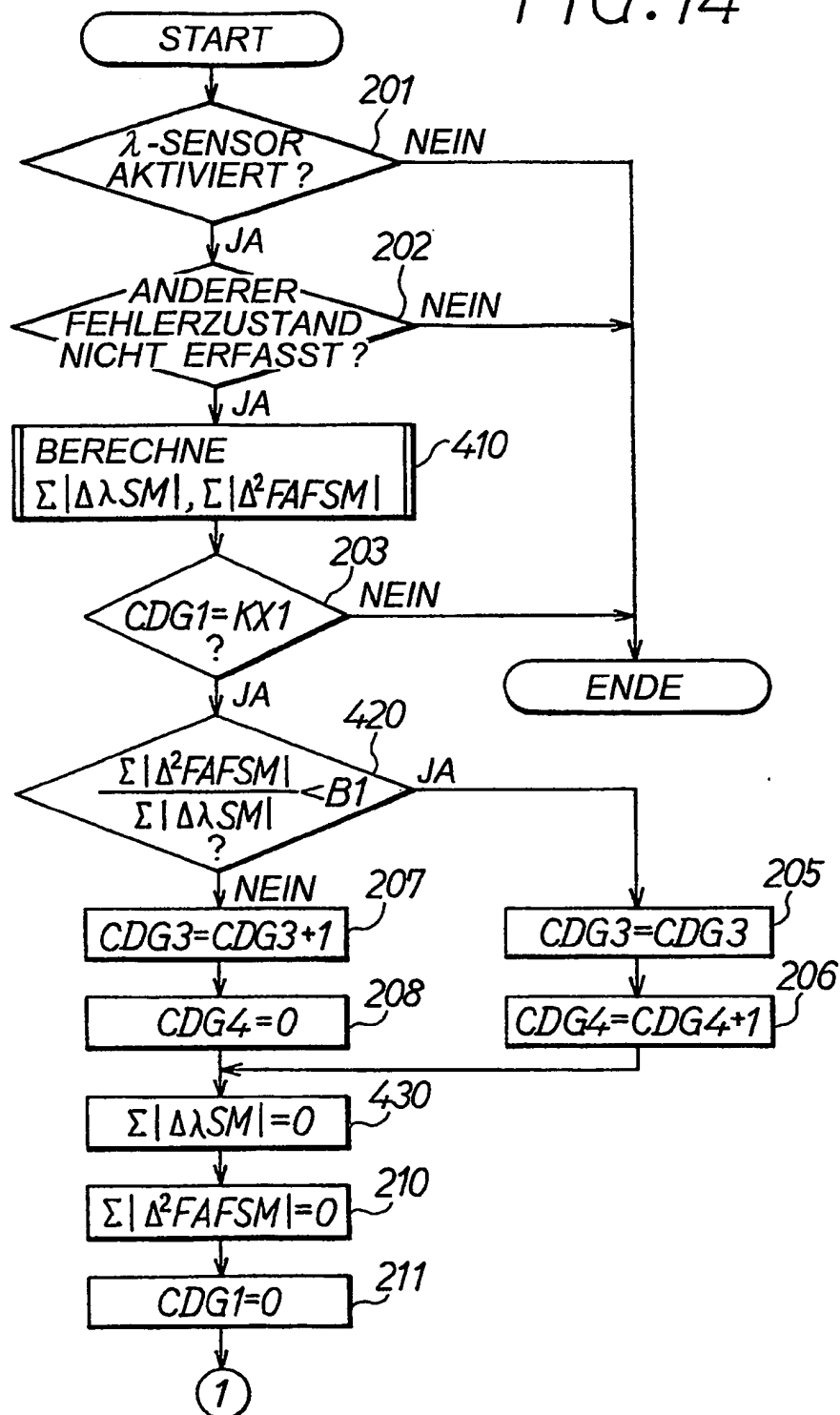


FIG. 15

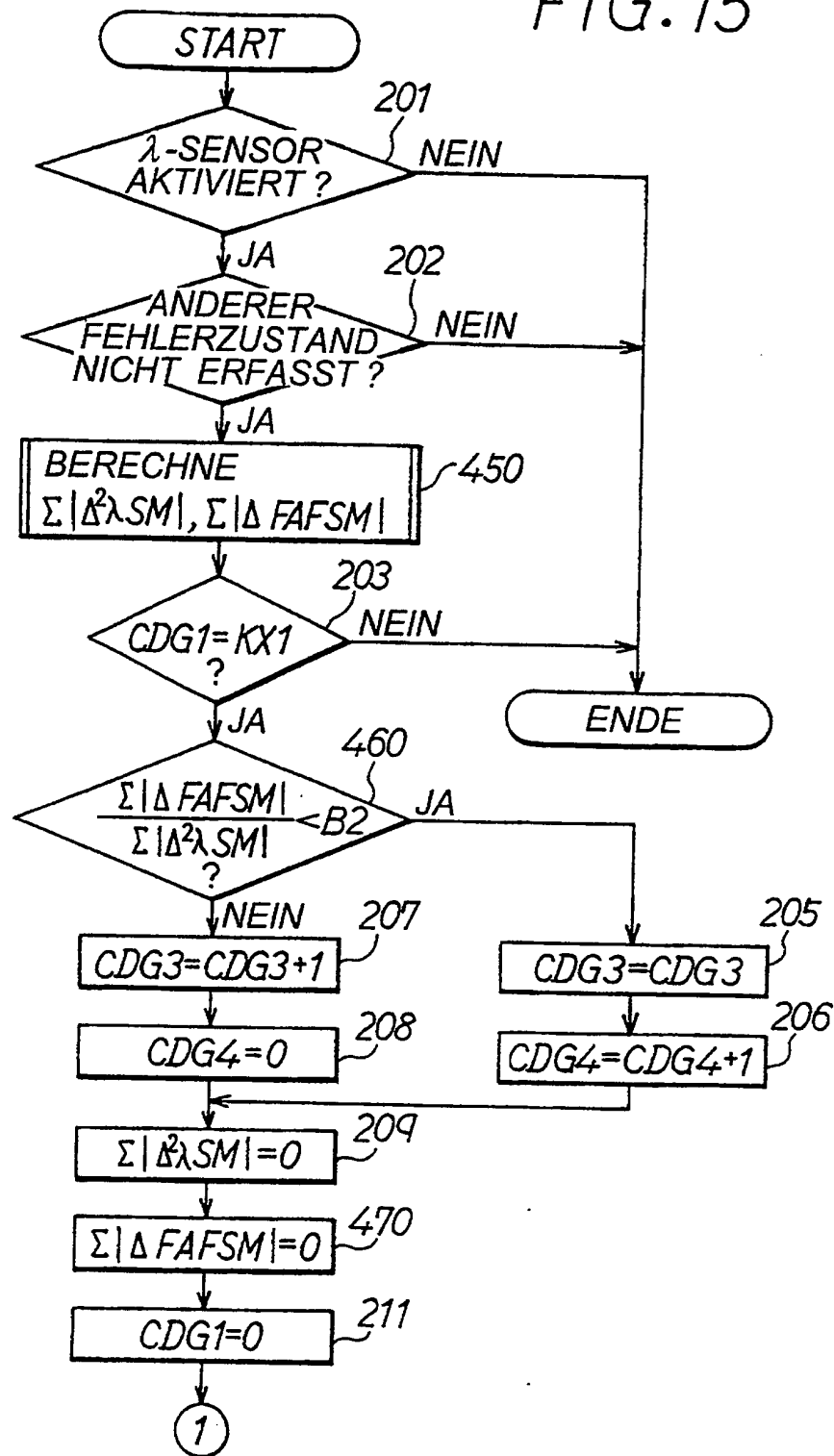


FIG. 16

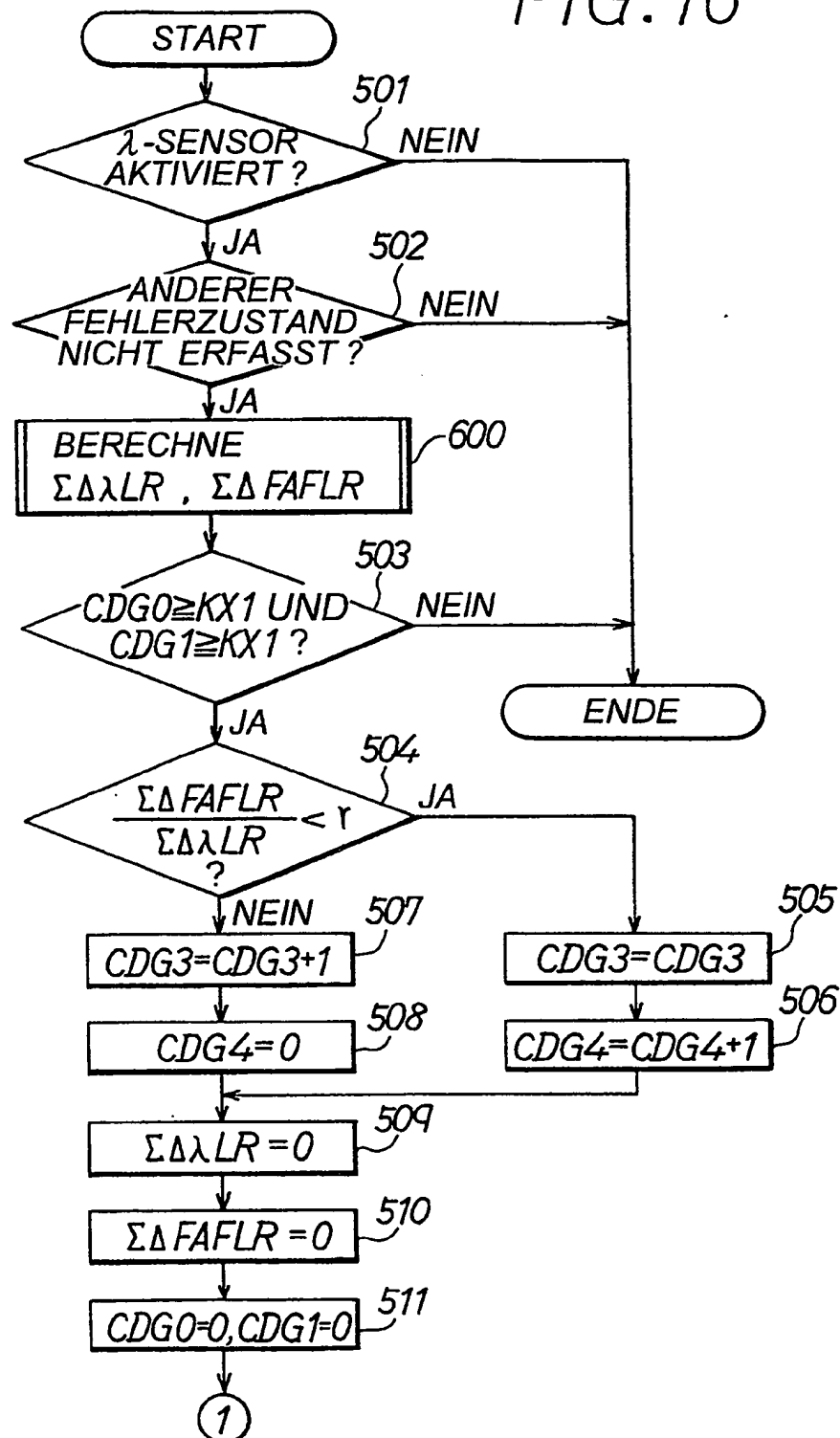


FIG. 17

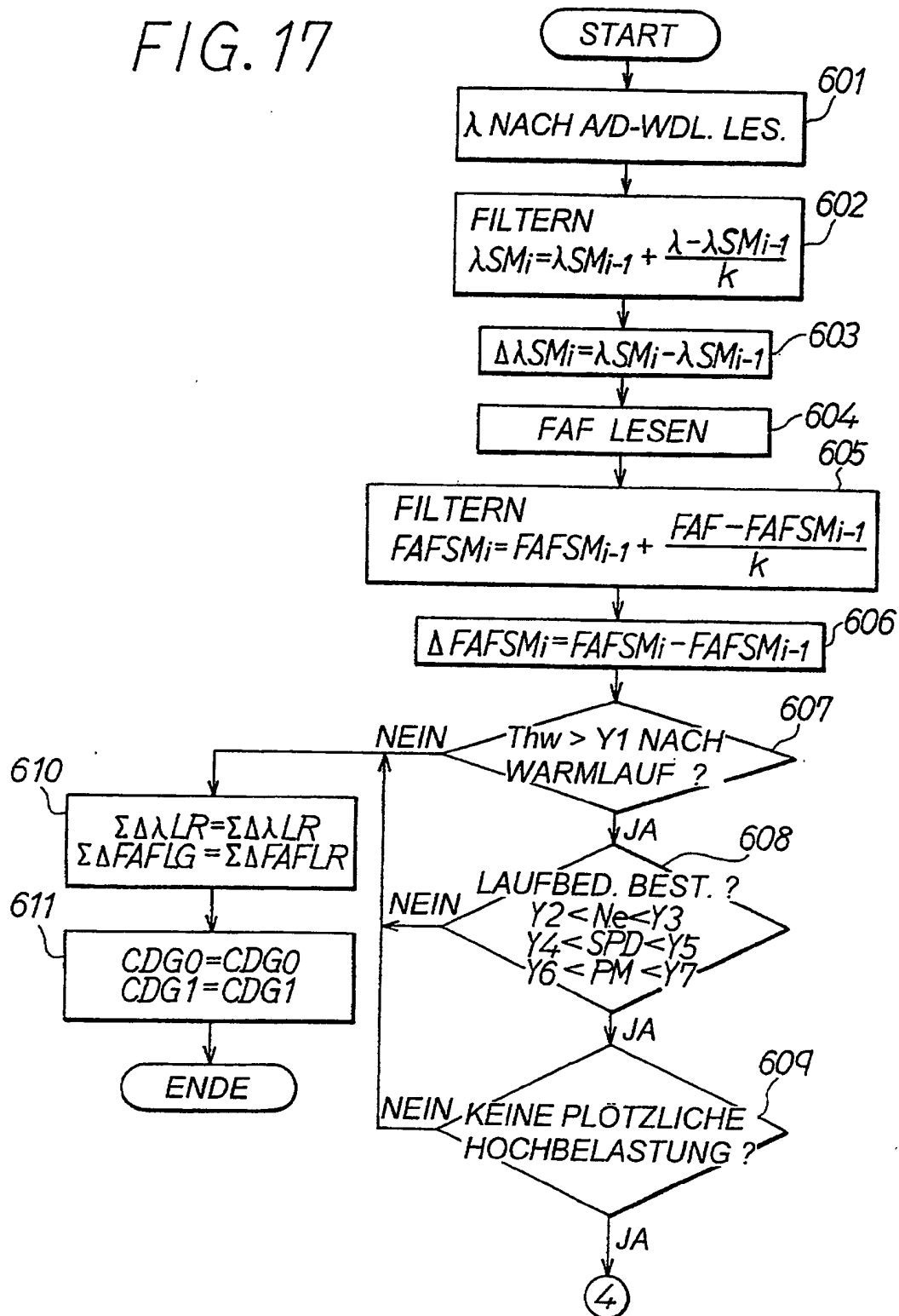


FIG. 18

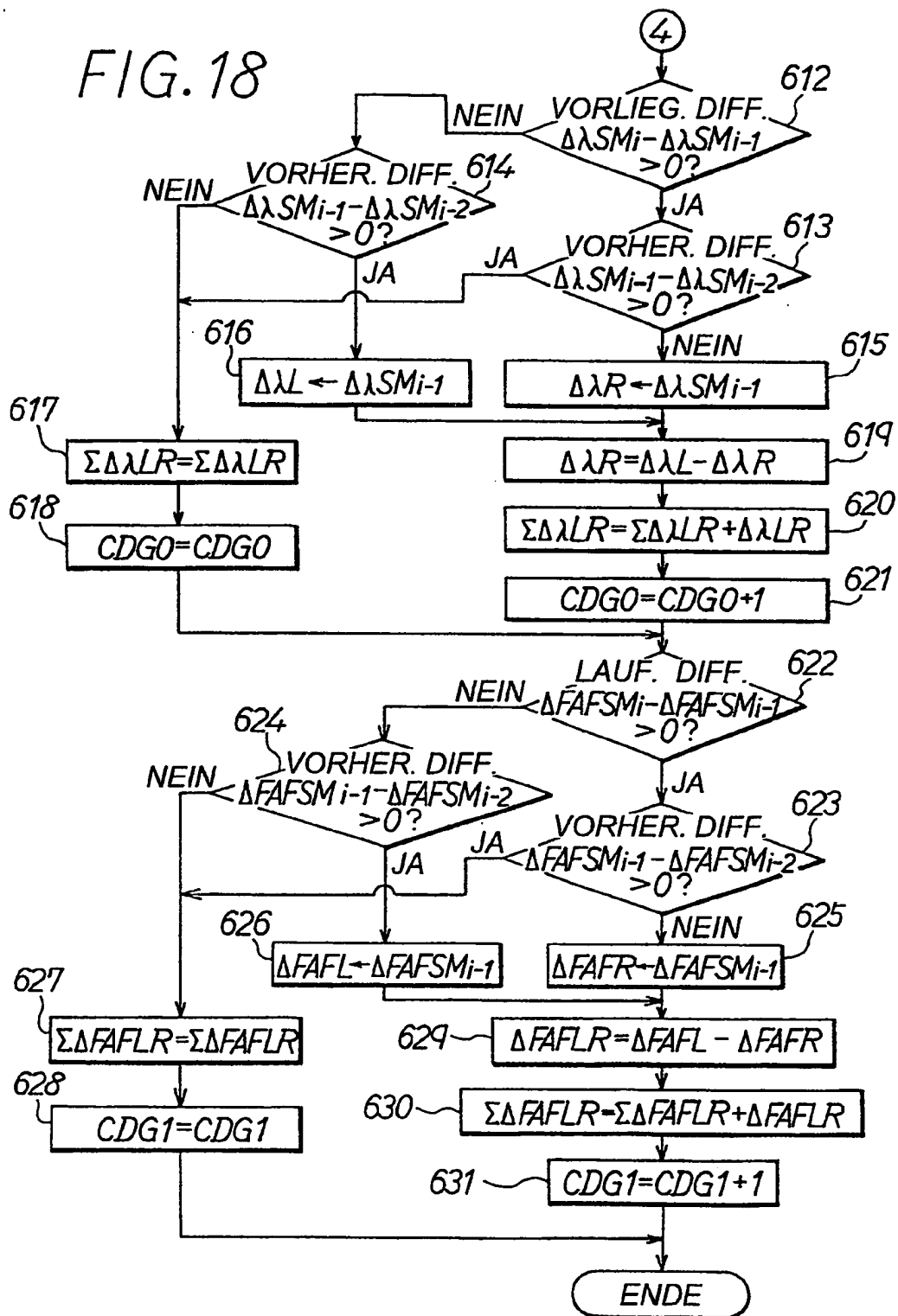


FIG. 21

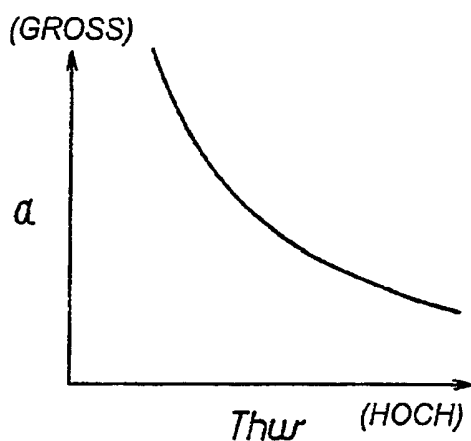


FIG. 22

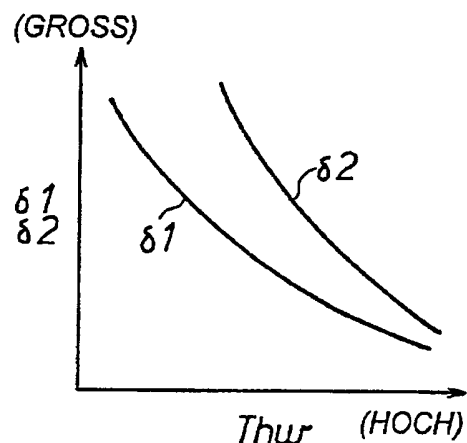


FIG. 23A

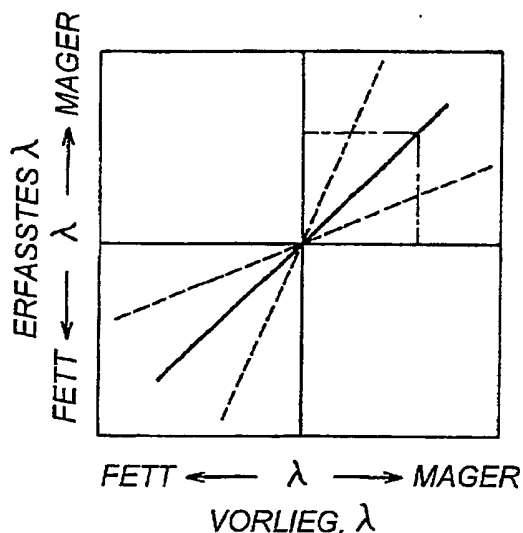


FIG. 23B

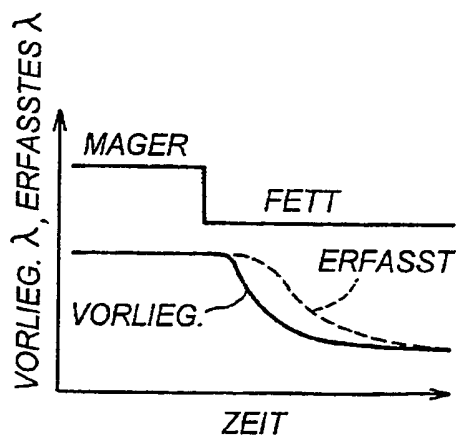


FIG. 24

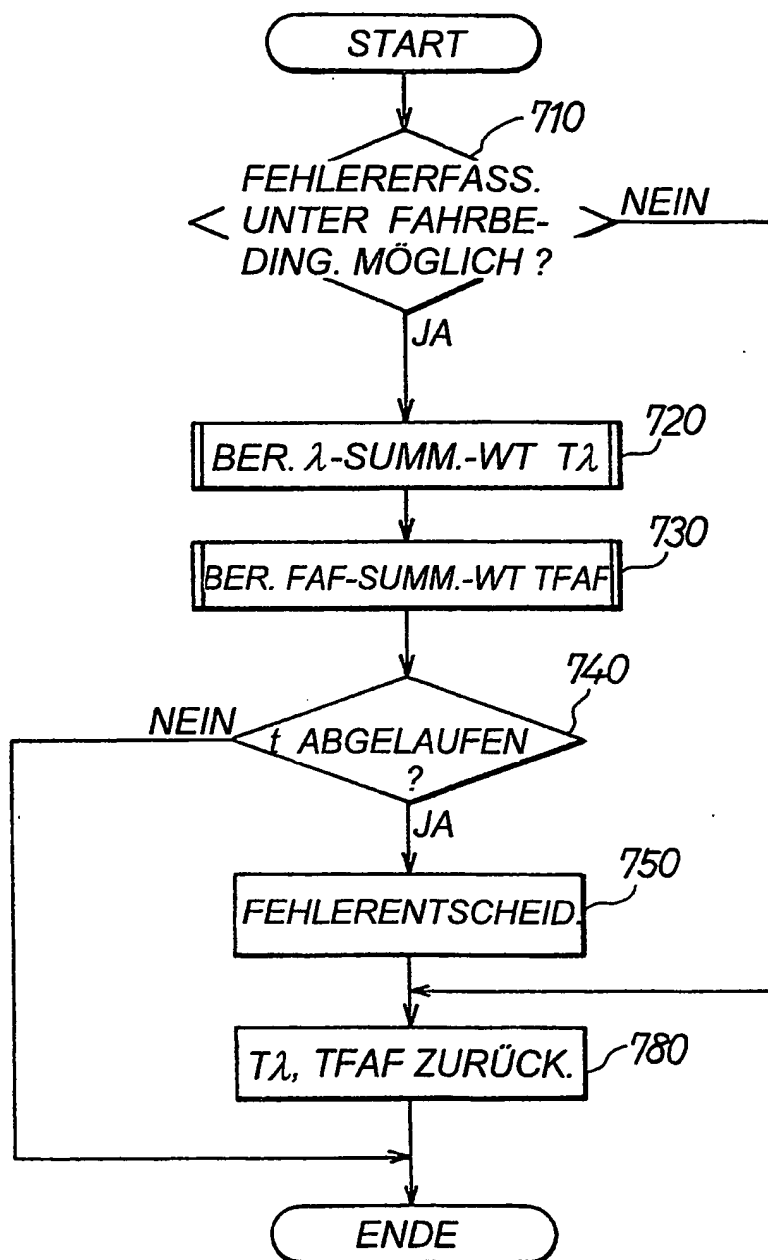


FIG. 25

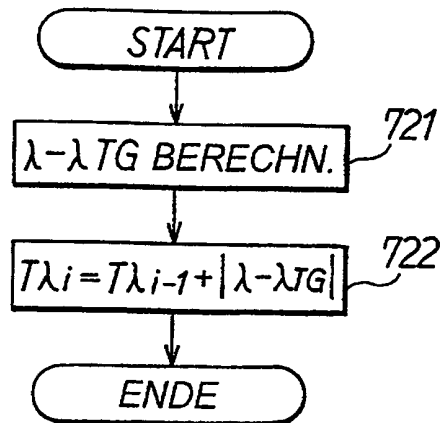


FIG. 26

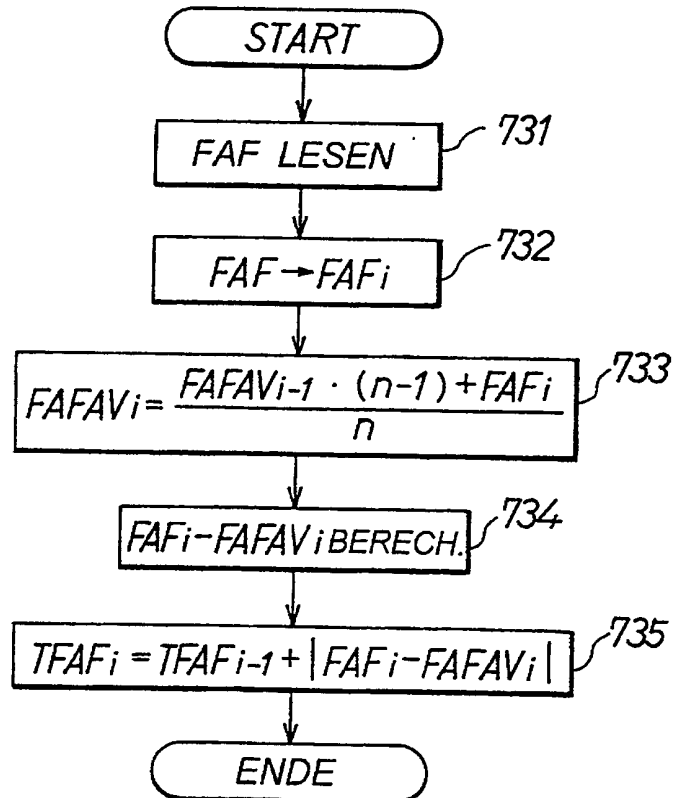


FIG. 27

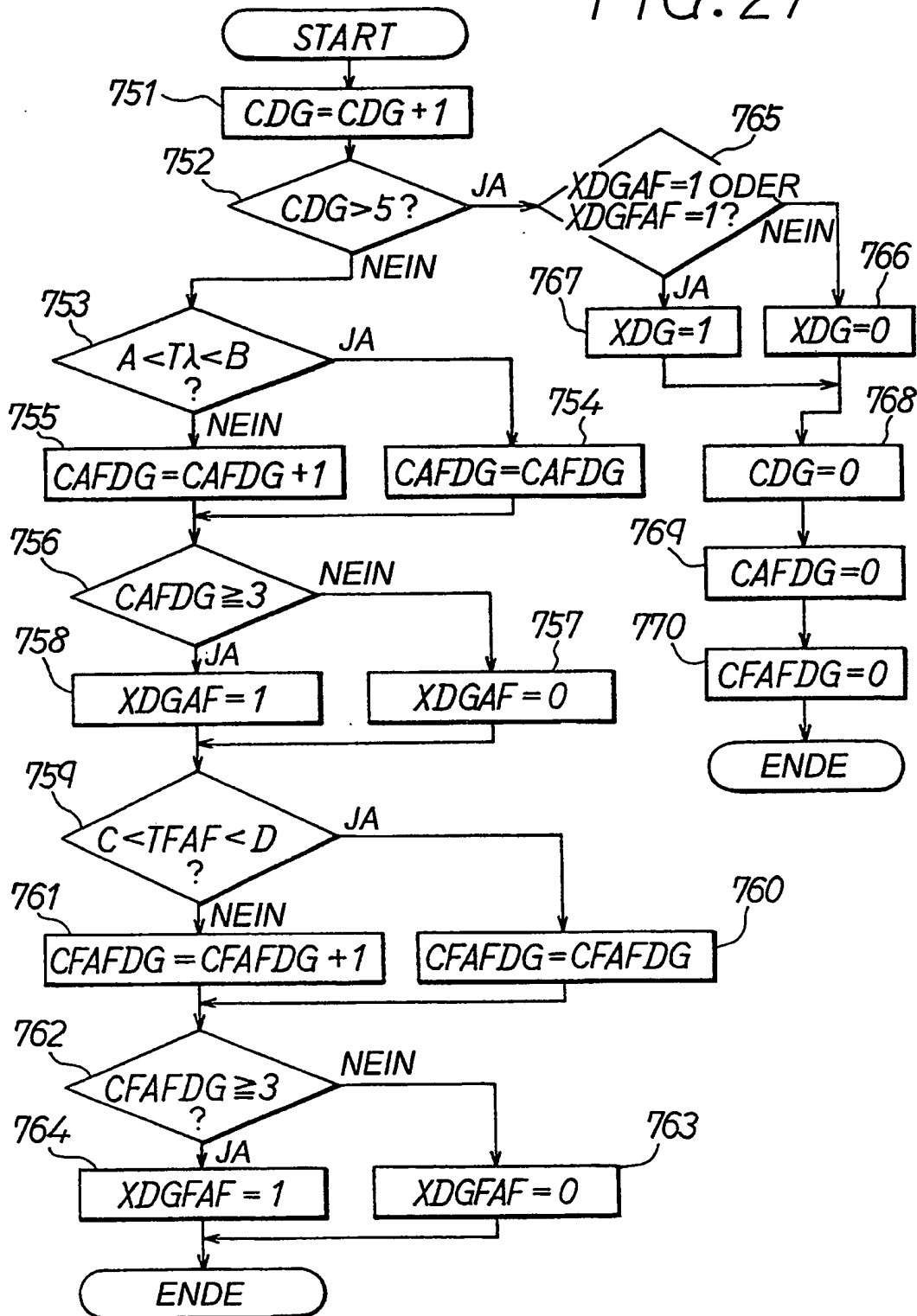


FIG. 28A

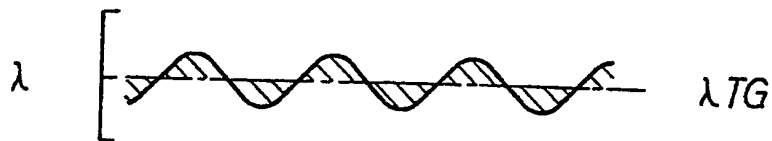


FIG. 28B

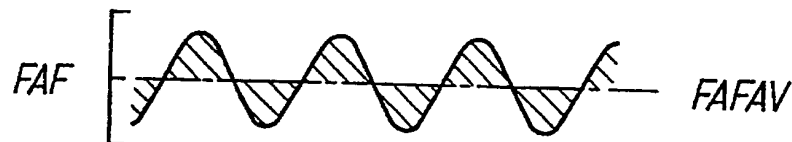
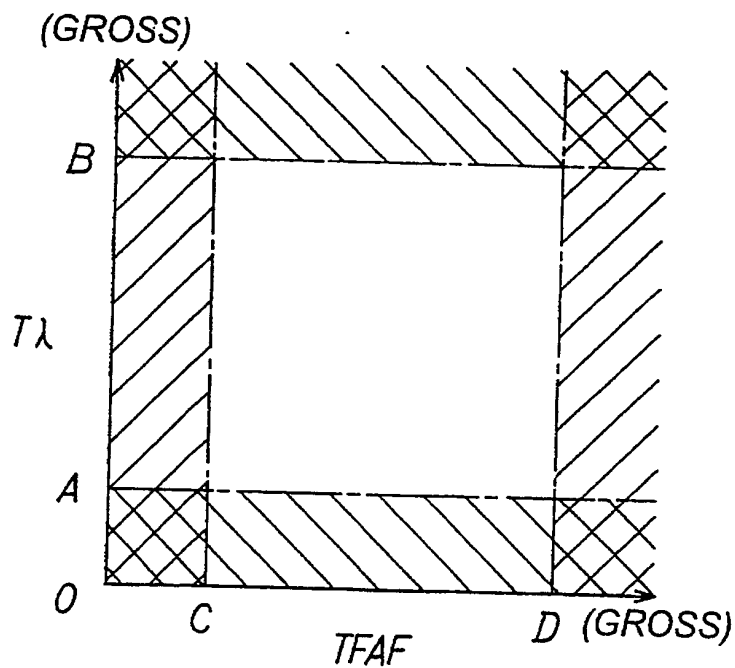


FIG. 29



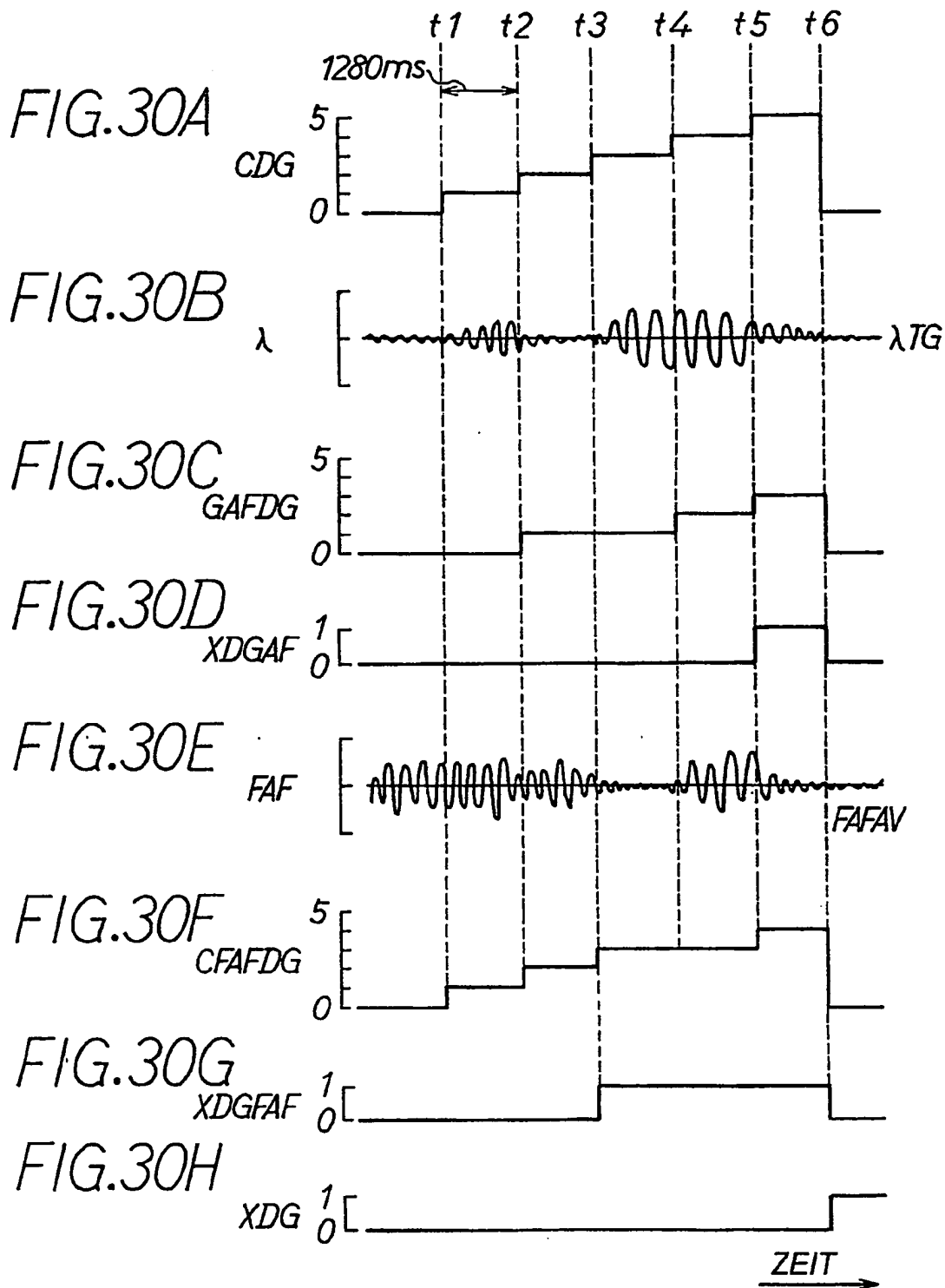
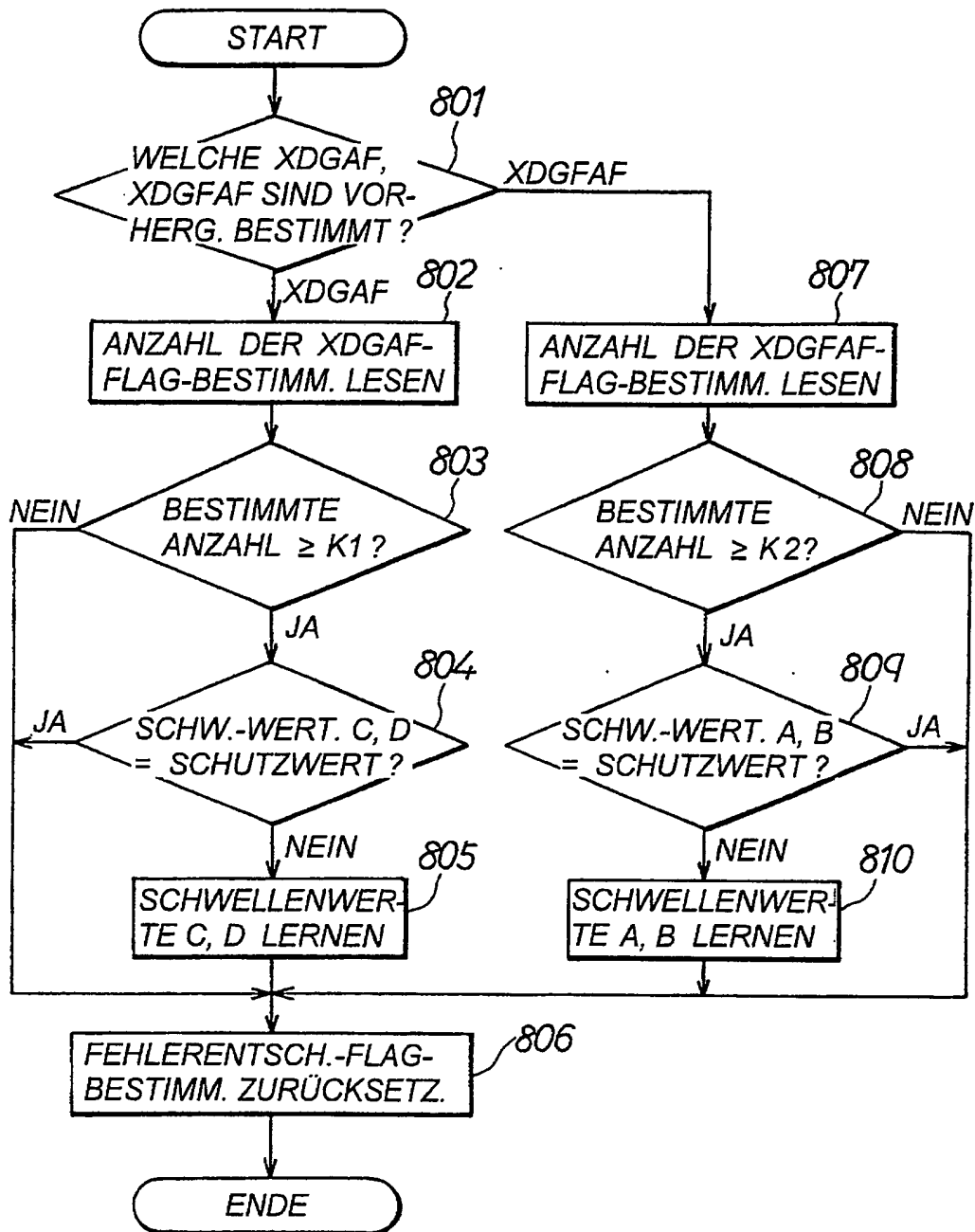


FIG. 31



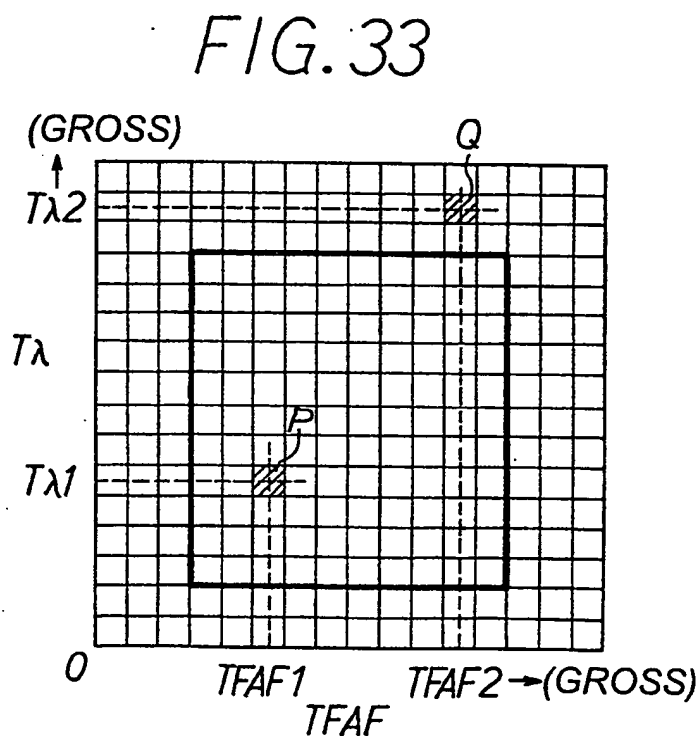
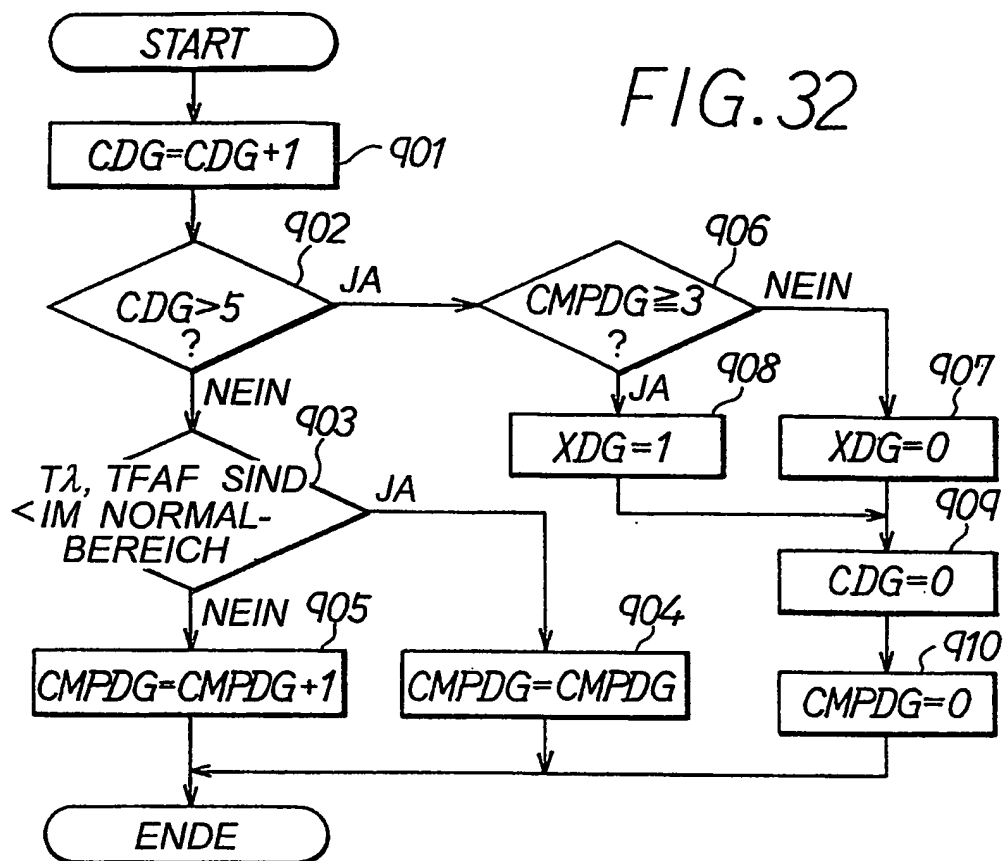


FIG. 34

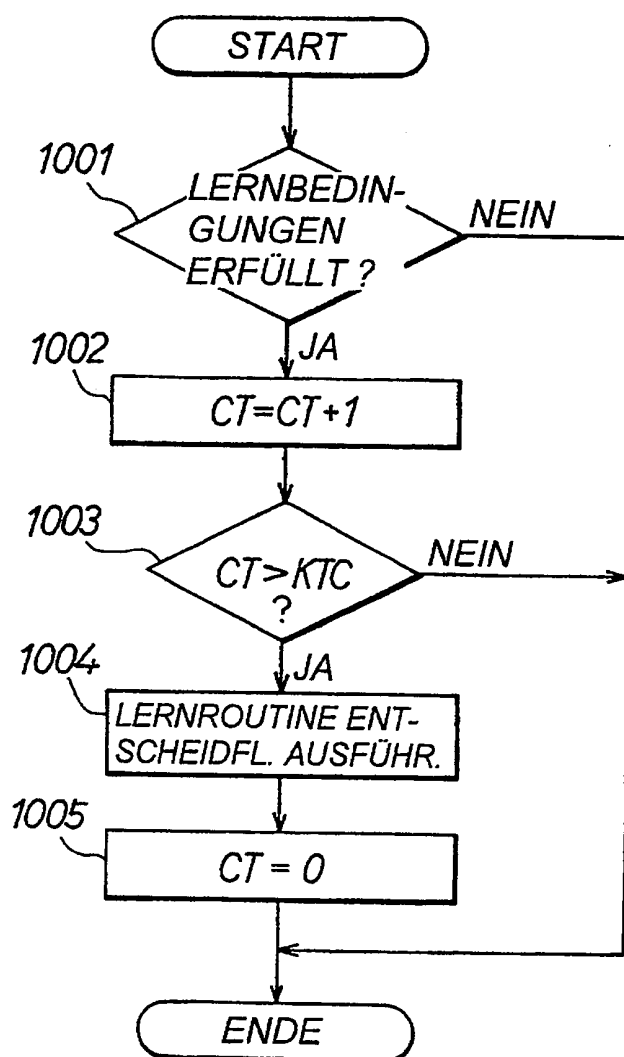


FIG. 35A

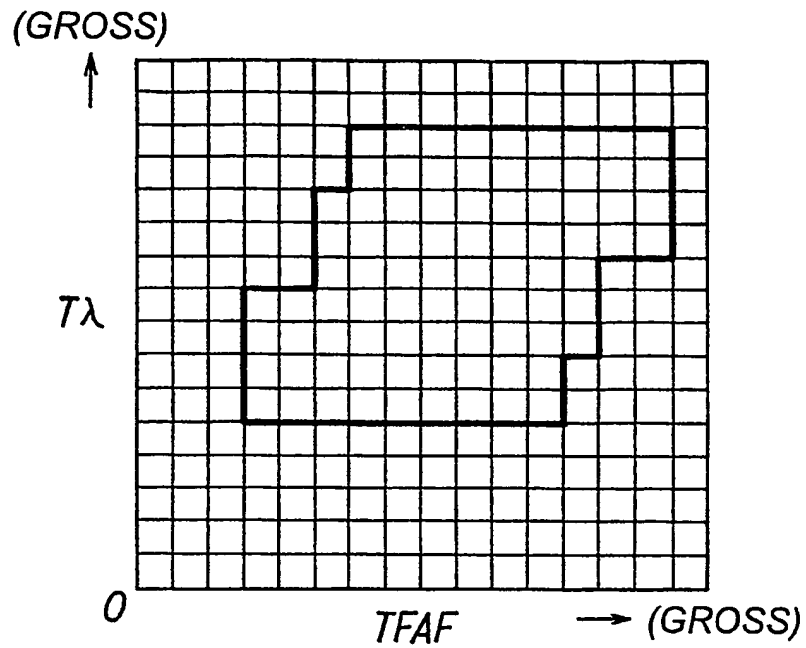


FIG. 35B

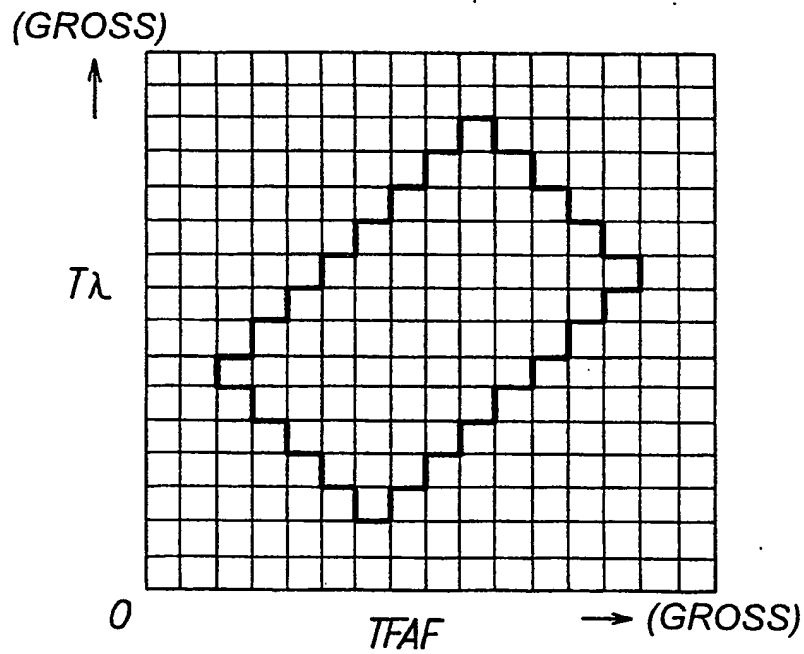


FIG. 36

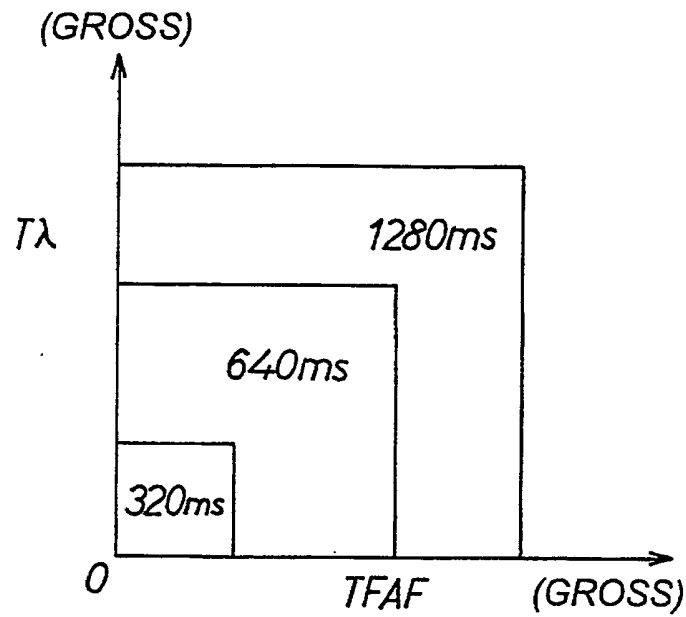
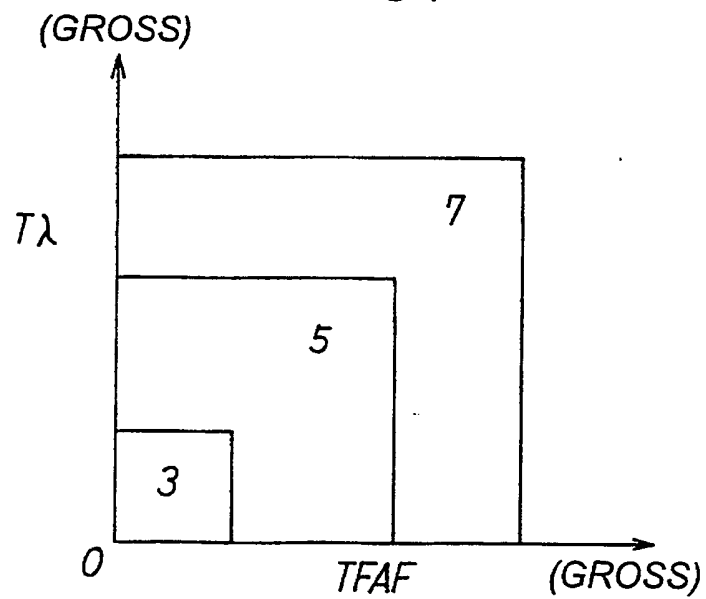


FIG. 37



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)